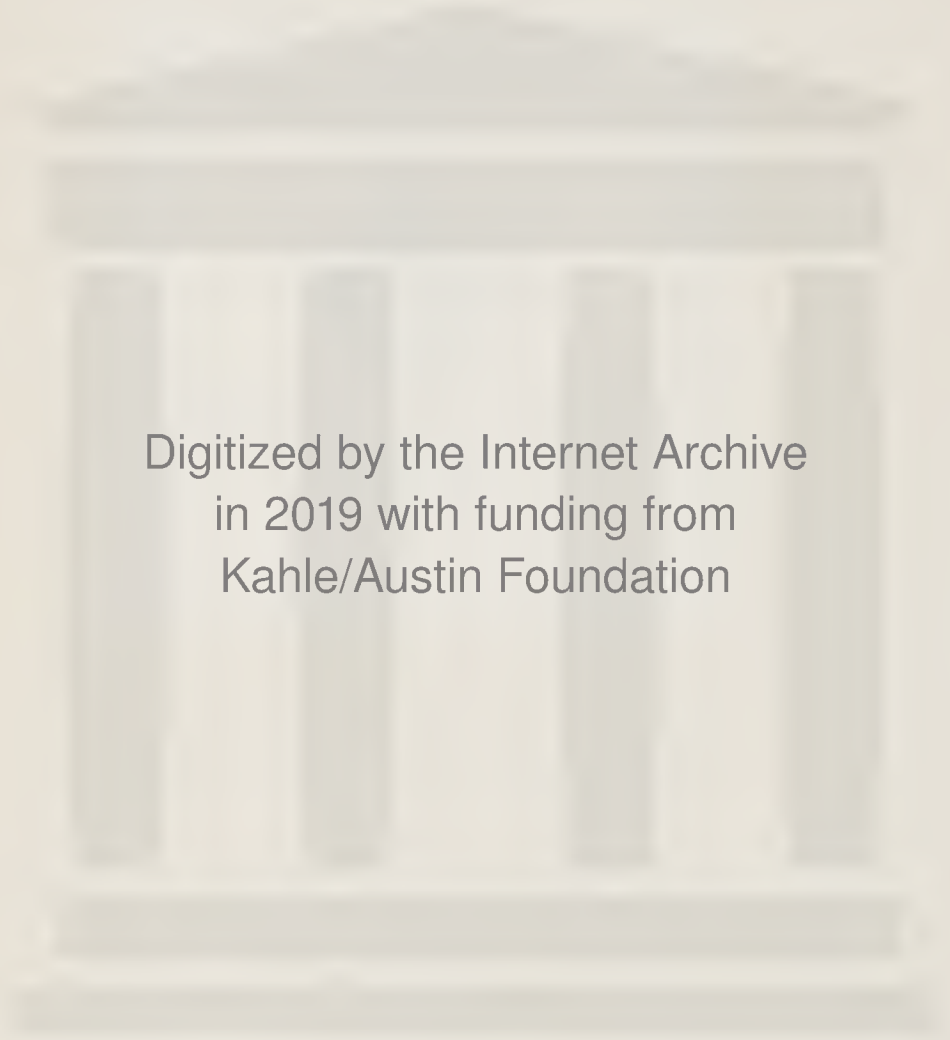
I. SECHENOV

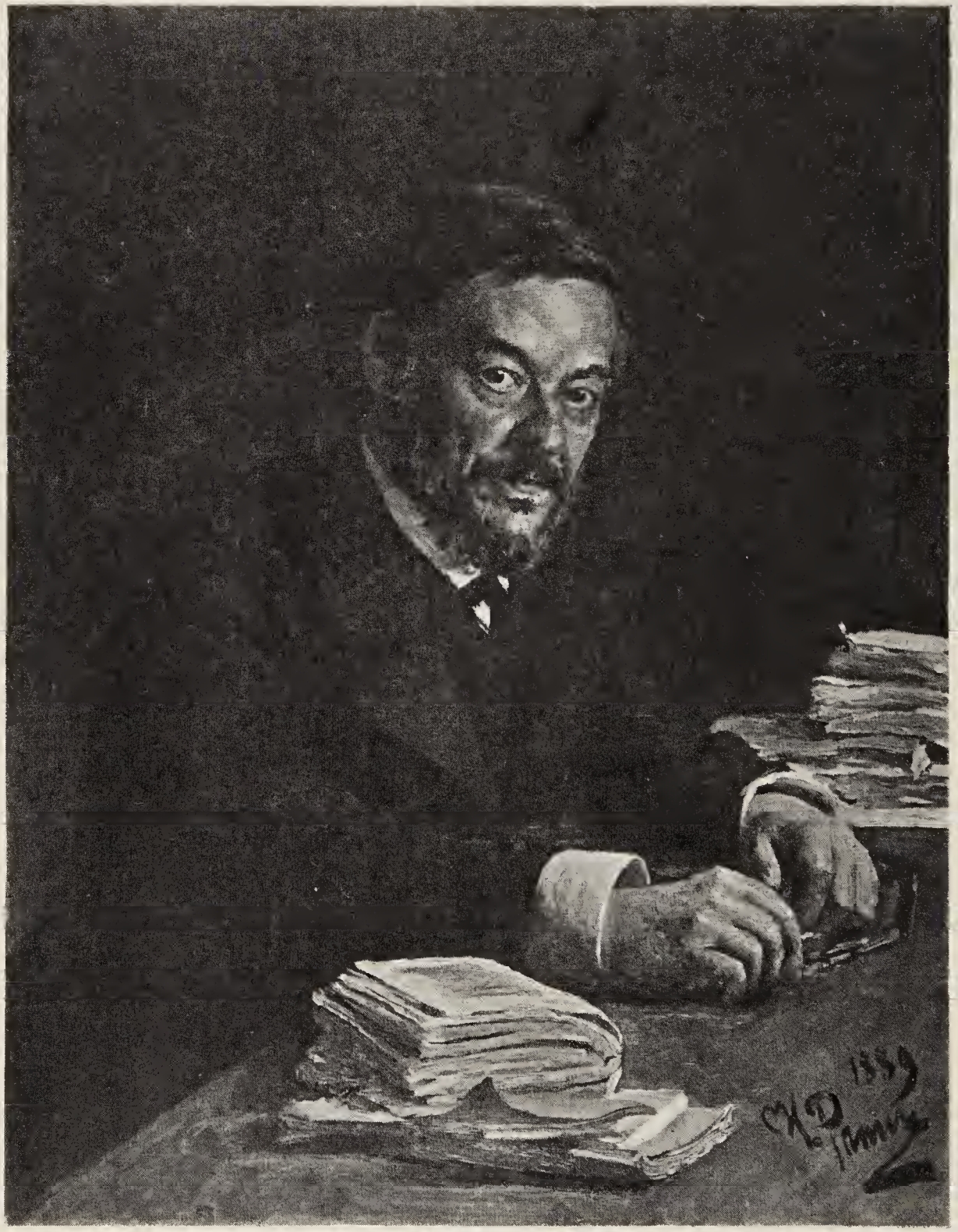
SELECTED WORKS

NUNC COGNOSCO EX PARTE

TRENT UNIVERSITY
LIBRARY


Digitized by the Internet Archive
in 2019 with funding from
Kahle/Austin Foundation

https://archive.org/details/selectedworks0000sech



SELECTED WORKS

I. SECHENOV

E. J. BONSET - AMSTERDAM
1968

QP6.S5 1968

XVth INTERNATIONAL PHYSIOLOGICAL CONGRESS
LENINGRAD—MOSCOW 1935

In autumn 1935, 30 years will have passed since the death of the pioneer of physiology in Russia and one of the greatest scientists, Ivan Michailovich Sechenov. I. M. Sechenov's experimental and theoretical researches have not lost their scientific value and remain a rich source of inspiration for biologists. These works are the basis on which the physiological schools of Pavlov and Vedensky,—the leading schools of U. S. S. R.,—have developed, but they are very imperfectly known in Europe and America. Indeed, I. M. Sechenov's psycho-physiological treatises have been published only in Russian, with the exception of an old French edition of the «Reflexes of the Brain». This is why the Organizing Committee has decided to publish them in English. As for the experimental works included in this volume, they were originally published in the German periodical scientific press of the end of the XIXth century, and are reproduced here literally, with the German spelling of the time.

The Organizing Committee is greatly indebted to Professor M. N. Shaternikov,—I. M. Sechenov's pupil and friend,—for the various documents, letters and photographs given in the biography as well as for the selection of I. M. Sechenov's works, and to Doctor A. A. Subkov for the translation of I. M. Sechenov's psycho-physiological works into English and for editing the book.

117996

CONTENTS

The life of I. M. Sechenov, by M. N. Shaternikov VII

I

Beiträge zur Pneumatologie des Blutes 3
Die Kohlensäure des Blutes 25
Die Theorie der Lungenluftzusammensetzung 82
Über die Absorption der Kohlensäure durch Salzlösungen 91

II

Physiologische Studien über die Hemmungsmechanismen für die Reflextätigkeit des Rückenmarks im Gehirne des Frosches 153
Über die elektrische und chemische Reizung der sensiblen Rückenmarksnerven des Frosches 177
Galvanische Erscheinungen an dem verlängerten Marke des Frosches 212
Ein Zusatz zu dem Artikel «Inhibition» von S. J. Meltzer. 243
Zur Frage nach der Einwirkung sensitiver Reize auf die Muskelarbeit des Menschen. 247

III

The reflexes of the brain 263
Who must investigate the problems of psychology, and how 337
Impressions and reality 392
The elements of thought 403

THE LIFE OF I. M. SECHENOV

BY

M. N. SHATERNIKOV

Ivan Michailovich Sechenov was born on the first of August 1829, at «Teply Stan»,—his father's estate in the Simbirsk Government (now the Middle-Volga district). He was the youngest of eight children. His father, a retired army officer, belonged to the provincial gentry; he lived in fairly easy circumstances, never leaving his estate and devoting all his time to his small stud-farm. He had married a peasant-girl, sending her before marriage to a monastery where she learned reading, writing and handiwork; his wife possessed a great deal of natural intelligence and her son writes that she did not differ in her old age from other old ladies of the neighbourhood.

Owing to their own modest education and to the constant pressure of work, Sechenov and his wife were unable to give their children an adequate education at home. But they understood the value of knowledge, und sent their sons to secondary schools. At that time, girls of the upper classes were expected to know foreign languages; a governess was consequently engaged to teach the younger Sechenov girls French and German. Ivan Michailovich was the youngest boy; he therefore spent his childhood in the company of his sisters and acquired a good knowledge of these languages. The parish priest taught him—rather perfunctorily—arithmetic, Russian and Latin.

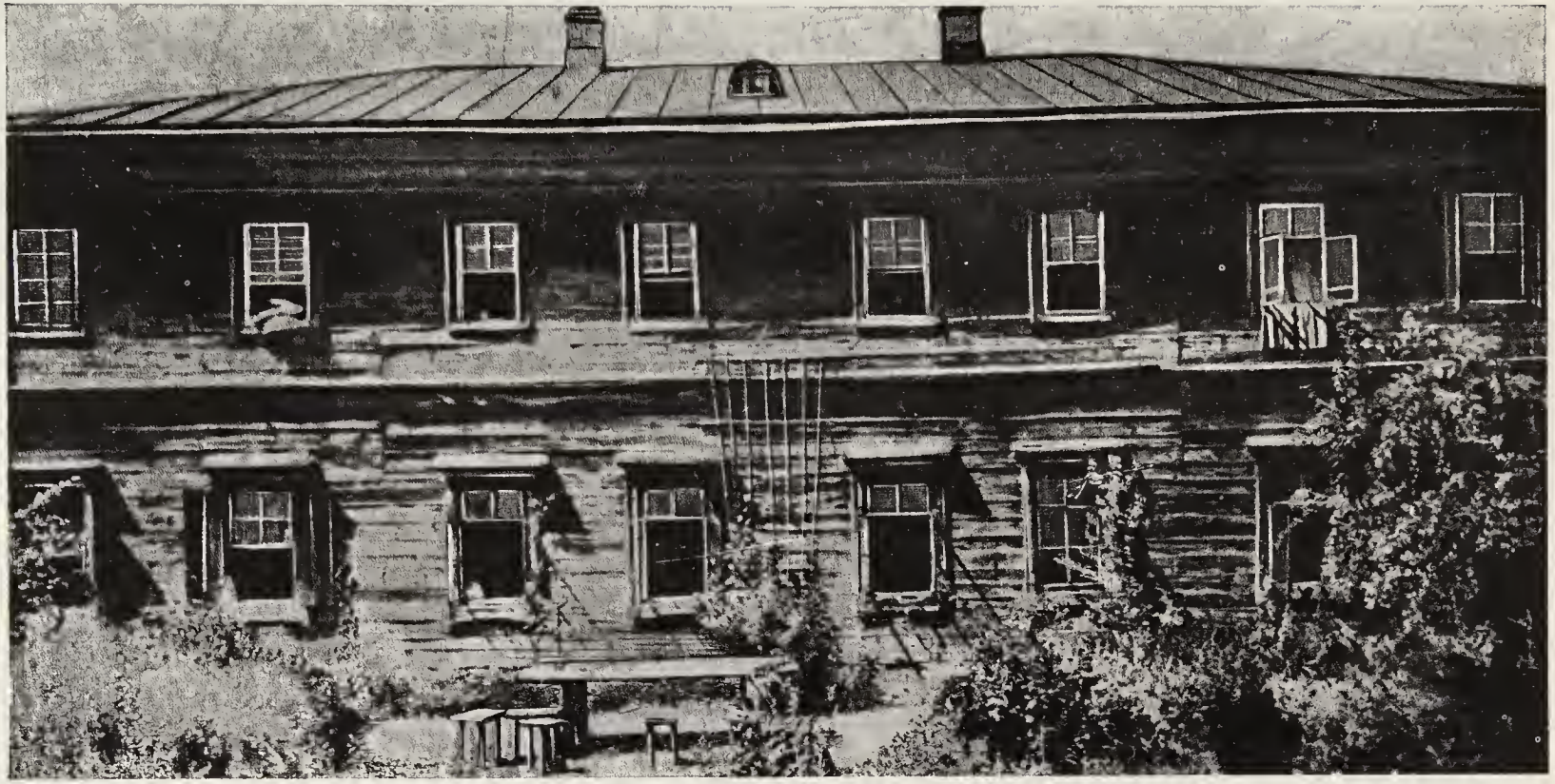
Ivan Michailovich was to have been sent to the secondary school in Kazan, where two of his brothers were; but after Mr. Sechenov's death in 1839, the family decided, on the advice of the elder brother, to send Ivan Michailovich to the Military Engineering School in Petersburg. The age for entering this school was fourteen. In 1843, therefore, Ivan Michailovich was taken to Petersburg and placed as a boarder in the house of a military engineer who prepared boys for the entrance examination to the Engineering School. In August Ivan Michailovich passed the examination and was admitted to the School. The course of tuition at the School was divided into two grades: the junior or «conductor» classes (four years), and the senior, or «officer» classes (two years). The students of the senior grade held the rank of ensigns. Further promotion depended on the results of the examination after the first year of work in the senior grade: students with first-rate marks were raised to the rank of sub-lieutenant; those with second-rate marks continued their studies without promotion; while those with third-rate marks had to leave the School and become ensigns in the engineer corps.

Ivan Michailovich studied well. He was one of the best pupils in his class, and was corporal during the third and fourth years of the junior grade.

The teaching at the school was good enough. A good deal of mathematics was studied in the first year of the senior grade; this included analytical and descriptive geometry, differential and integral calculus. Sechenov devoted most of his time to these subjects, and also to physics and chemistry, giving much less attention to the study of military engineering. His progress was so good that there seemed to be no doubt that he would pass to the second year of the senior grade with first-rate marks. But general L., the Head of the school, was displeased with young Sechenov for making fun of his son, who was one of Sechenov's fellow-pupils. He regarded this as an expression of disrespect to himself. On the plea that the sketch presented by Sechenov at the examination was not to scale he gave him a bad mark in fortification, thereby bringing him down into the group of second-rate pupils; and after the examination in military construction Sechenov even found himself in the third-rate group. This put an end to Sechenov's studies in the Engineering School, and transferred him to the army as a junior sapper officer. In June 1848, at the age of nineteen, Sechenov was appointed ensign of the Second Reserve Sapper Batallion camped in the vicinity of Kiev.

The young man was soon sick of military service with its routine and drill. He was glad when he and his fellow-students from the Engineering School who were in the same situation were appointed as teachers to the military school in Kiev: he could now stay in Kiev all the winter. The life of the military circle in Russian provincial towns was at that time drab and colourless; the interests of the average army officer were trivial; success in a military career depended, not on education and efficiency, but on personal connections and the favour of superiors. This atmosphere might have proved pernicious for the talented young officer. Fortunately, however, Sechenov's fellow-students from the Engineering School made no secret of the circumstances which had led to Sechenov's departure from the School; the story soon became known to the Kiev military engineers, and they befriended him. One of the officers introduced him to his family, and this laid the foundation for Sechenov's scientific career. Here he met his «benefactress» (as he later always called her);—the 20-year-old daughter of his hosts, widowed half a year after her marriage. She was kind and friendly; she set a high value on science and intellectual work; she eagerly discussed the rights of woman and other social problems; she spoke of the Moscow university as a center of culture, and of medicine as one of the most noble of professions. In his autobiography, Sechenov writes: «When I first entered this house, I was a mere youth, passively following the road on which my feet had fallen, and knowing not whither it would lead me. When I left it, my future was planned, I knew where to go and what to do».

In February 1850, after $1^1/_2$ years of military service Sechenov retired from the army with the firm intention of entering the medical faculty of the Moscow university. He first went, to pass the summer with his mother who was still living in «Teply Stan». In October he received the official acceptance of his resignation from the army and immediately left for Moscow. It was already too late to obtain admission that year; besides, he had to pass an examination in history, mathematics, Russian and Latin. He therefore began to prepare for these examinations; at the same time he attended



I. M. Sechenov's birth-place: the house in Teply Stan.

some of the lectures of the first course as «extern». He had to live very modestly; but penury was nothing to him, engrossed as he was in his studies. He thought it perfectly natural to eat meat only twice a week and to drink tea once a fortnight. The only thing that really annoyed him was the impossibility of buying all the books he wanted. In his old age, Sechenov often spoke of that enthusiastic period of his youth, saying that the hardships of his student life had taught him to be moderate in his desires.

In August 1851, Sechenov passed the entrance-examinations and was accepted as student of the medical faculty. He decided to attend the first year's course over again, because his preparation for the entrance examination had taken more time than he expected and he did not feel ready for the second course. He worked assiduously, never missing a lecture and spending much time in the dissecting-room of the Anatomical Institute. His favourite lecturer was Professor Glebov, who held the chair of physiology and devoted part of the year's course to comparative anatomy. Glebov's exposition of this subject was so captivating that Sechenov even thought of taking comparative anatomy as his speciality. Glebov's course of physiology proper was far less interesting; moreover, the textbooks on physiology were obsolete, and the demonstrations at the lectures were few. In the third year of his medical studies Sechenov's attitude to his work changed. He was deeply dissatisfied with the lectures on practical medicine to which the senior courses of the medical faculty are devoted. These lectures were grossly empirical and scholastic. Sechenov neglected the medical courses; instead, be preferred to attend the lectures of Kudriavzev and Granovsky,—the famous historians, or to sit at home poring over Benecke's treatises *Psychologische Skizzen* and *Erziehungslehre*. By the end of the year, however, he set to work and passed without disgrace into the fourth year of medical training. That year, he regularly attended the course of surgery of professor Inosemtzev, the students' favourite; but these lectures did not arouse his interest, nor did any other of the purely medical subjects. His new hobby was Bergmann and Leuckart's *Anatomisches Uebersicht des Tierreichs* (Stuttgart 1852); he was so enthusiastic about this book that some friends of his asked him to tell them what it was about, and he gave them a lecture on «the increasing complexity of the processes of life». He kept this book to the end of his days and often spoke of the immense impression it produced upon him when he read it for the first time.

That year Sechenov's mother died, leaving him a small sum of money; this he decided to spend, after graduation, on going abroad to study physiology. Having taken this decision, he became quite indifferent to the clinical subjects of the fifth year. Nevertheless, the Dean of the Faculty insisted upon his going in for the M. D. examination, which he passed in June 1856 with signal success.

In August Sechenov left for Berlin, attracted by the fame of Johannes Müller. But the great physiologist was feeble and old and did not accept pupils, so that Sechenov only attended his lectures on comparative anatomy during the winter term of 1856/57, and on physiology during the summer term of 1857. Du Bois Reymond was then second lecturer on physiology at the Berlin University; Sechenov attended his course on animal electricity and

obtained his permission to repeat some of his electro-physiological experiments in the laboratory. Sechenov devoted the rest of this time to the practical study of chemical analysis in a private laboratory; he also attended the lectures of the physicist Magnus and the chemist Rose. When his knowledge of chemistry was sufficient, he obtained Hoppe-Seyler's permission to prepare his doctor's thesis in the latter's laboratory; he wanted to investigate the influence on the organism of acute alcoholic intoxication. The choice of that theme was undoubtedly dictated by one of the saddest sides of Russian life of that time. In Hoppe-Seyler's laboratory, Sechenov determined the contents of alcohol in the exhaled air, the CO_2-output of the intoxicated animal, and the influence of alcohol on the temperature of the body. During the winter term of 1857—1858, he continued this work in Funke's laboratory in Leipzig, where he studied the influence of alcohol on protein metabolism and on the function of the muscular and nervous system. The first part of this work he performed upon himself; in the course of the second (which included a considerable number of experiments on frogs) he discovered an error in Claude Bernard's findings concerning the action of potassium sulfocyanide on muscles and nerves. His own experiments, correcting this error, were published in «*Virchow's Archiv für die pathologische Anatomie und Physiologie*» in 1858. This article «*Einiges über die Vergiftung mit Schwefelcyankalium*») was Sechenov's first published work. During the summer of 1858, Sechenov went to Jena, to study the action of alcohol on circulation and on the absorption of oxygen by the blood, in the laboratory of prof. Ludwig, the skilled vivisectionist. Sechenov wanted to extract the gases from the blood of normal and inebriated animals; but the then existing gas-pump designed by Magnus and Meyer did not give satisfactory results. Sechenov decided to extract the gases by means of L. Mayer's absorbtiometer which he used as a pump. The advantage of this apparatus was that it made it possible to renew the vacuum and to heat the blood. The results thus obtained were so good that Ludwig had an improved model made for his laboratory. This model is described in Sechenov's paper «*Beiträge zur Pneumatologie des Blutes*» (included in this book). All later models of the gas-pump for extracting the gases of the blood (e. g. those of Pflüger, Bohr, Helmholtz etc.) are merely modifications of Sechenov's principle.

In autumn 1858 two of Sechenov's friends,—the young Russian physician Botkin (later the famous therapeutist) and Becker (a talented surgeon who died young) came to Vienna for the winter term. At their request, Sechenov persuaded Ludwig to give a private course of lectures on the physiology of circulation and on the innervation of the bloodvessels to the Russian physicians who were that winter studying in Vienna. Ludwig readily agreed; the lectures were, naturally, a great success, and when they were ended the grateful audience invited the lecturer to dinner. At this dinner, Sechenov's friends made a closer acquaintance with Ludwig and won his sympathy.

In spring, Sechenov was in possession of nearly all the experimental data he wanted for his thesis; so after nearly a year of work in Ludwig's laboratory, he left for Heidelberg to work in the laboratories of Helmholtz and Bunsen. In May, Ludwig,—who always remained a great friend of his talented pupil,—wrote to him:

Lieber Setschenow,

Botkin ist wohl verheiratet abgereist; ich hoffe er wird eine fröhliche und glückliche Reise haben.—Als ich ihm hier noch öfters sah, sagte er mir eines Tages-Kleboff[1], ein hoher Ministerialbeamter in Petersburg habe ihm geschrieben Sie möchten ein Brief ihm (Hr. Kleboff) abfassen, ihm erzählen, wie und wo Sie sich mit Physiologie beschäftigen, damit er etwas officielles in Händen habend, sich für Sie bemühen könne. Also verfahren Sie nach Vorschrift. Ich bat Botkin Ihnen selbst zu schreiben: ich hoffe er hat es gethan, da ihm seine Frau eifrig zuredete.—Wie Sie über Botkins[2], so klagte er über Ihre Empfindlichkeit, Sie entschuldigen mich, dass ich das mitteile, aber ich möchte so gern ein Einverständnis erhalten zwischen zwei Leute, die gemeinsam jeder in seiner Art so viel gutes wirken können. Sie kennen ja meine Meinung darüber. So glaubt also jeder der Beleidigte zu sein. Ein gutes Zeichen, ein Mittel rasch zur Versöhnung zu kommen.

Hr. Einbrodt[3] ist angelangt und fleissig, ich bin also nicht ganz einsam; die ödematose Umgebung der Niere beschäftigt mich; Herrn Einbrodt—der Tetanus des Herzens.—Grüssen Sie herzlich Bunsen und Helmholtz und verhalten Sie im Gedächtnis

Ihren treuen
C. Ludwig

Wien, 14 Mai 1859

Sechenov wrote to Glebov that he would stay abroad as along as money permitted. In Bunsen's laboratory, he studied the analysis of gases; in that of Helmholtz he investigated the fluorescence of the refracting media of the eye. He was satisfied with his work, but he missed the friendly atmosphere of Ludwig's laboratory, and though many Russians were at that time living in

---

[1] Glebov, professor of physiology in the Moscow University, was Sechenov's teacher. Later he was transferred to Petersburg as vice-president of the Military Medico-Surgical Academy.

[2] Just before Sechenov's departure from Vienna, he had a dispute with Botkin about the rôle of the cellular principle in physiology and pathology. Botkin defended with ardour the theory of Virchow, whose pupil and ardent admirer he was, while Sechenov attacked it with great energy, insisting upon the importance of the molecula composition of the environment of the cell. The two friends parted at logger-heads and Sechenov left Vienna without even saying goodbye to Botkin. Ludwig heard of the squabble from Sechenov. We find an echo of this dispute in some of the statements in Sechenov's doctoral dissertation (1860): «1) even if there exist forces peculiar only to animal and plant organisms and absent in the inorganic world, these forces must be subordinated to laws which are as inevitable as the laws governing the inorganic world... 6) the animal cell is an anatomical but not a physiological unit; physiologically it is equivalent to its environment,—the intercellular substance; 7) the principles of cellular pathology are erroneous, because they are based on the assumption of the physiological independence of the cell, or at least of its domination over the surrounding environment. The theory of cellular pathology is an extreme expression of the purely anatomical trend in physiology; 8) the only correct approach to pathology in our time is the molecular (biographer's note: i. e. the physico-chemical) principle.» Soon after this, Botkin came to Heidelberg with a letter from Glebov, and the quarrel was forgotten: «but since then»—writes Sechenov—«Botkin and I have carefully avoided all mention of cells and molecules in our conversation with each other».

[3] Sechenov's fellow-student, afterwards Professor of physiology in the Moscow university.

Heidelberg (among them D. Mendeleyev with whom Setchenov became very intimate), Setchenov decided not to remain in Heidelberg for the next term. He wrote to Ludwig to ask for advice, and received the following two letters:

Ich wollte, lieber Setschenow, Ihnen nicht eher schreiben, als bis ich Ihnen die Separatabdrücke schicken konnte.—Darüber ist die Zeit vergangen, ich bin durch den Bau meiner Wohnung von Wien nach Vöslau verdrängt worden, und nun liegen vielleicht die gedruckten Abhandlungen in meiner Wohnung zu Wien, ohne dass ich sie erhalten habe. Jedenfalls ist der Druck beendigt, und in spätestens 8 Tage kann ich die Sendung dahin abgehen lassen, wohin Sie dieselben bestimmen.—Die Temperaturbestimmungen sind deshalb aus der Abhandlung entfernt worden, weil sie nach Stefans in meinem eigenen Gefühl nicht zu den übrigen viel genauer gehaltenen Teilen Ihrer Arbeit passten; wenn Sie in schon gedruckten Exemplare Ihre Abhandlung vor sich sehen, werden Sie gewiss unserer Meinung beistimmen. Uebrigens können Sie ja dieselbe noch zu jeder Zeit als eine Notiz veröffentlichen; wenn Sie mir es erlauben, so werde ich die von Ihnen gemachten Erfahrung im Lehrbuch erwähnen.—Helmholtz hat an B (rücke) geschrieben, dass Sie eine beträchtliche Fluoreszens d. Linse entdeckt haben. Es wird Ihnen nicht entgangen sein, dass M. S. Regnauld dasselbe schon veröffentlicht hat (Brown Sequard Journal de la Physiologie de l'Homme etc., tome deux. Apr. 1859). Soweit ich sehe, hat aber Regnauld nicht die Anwendung davon gemacht, die Sie machten, nämlich die Linse d. Lebenden dadurch sichtbar werden zu lassen.

Dass Sie sich meiner eigenen Angelegenheiten auf der Reise durch Berlin und Marburg mit bekannter Sorgsamkeit angenommen, hatte ich schon erfahren, empfangen Sie meinen besten Dank dafür.

Und nun endlich soll ich Rat geben. Wie wäre mir das möglich: zuerst sage ich dies, dass Sie mir immer sehr willkommen sind. Wollen Sie nach Wien zurückkehren und den Winter Ihre Arbeit fortsetzen, so wird sich niemand so sehr darüber freuen wie ich. Aber gerade weil es in meinem Interesse ist Sie bei mir zu sehen, bin ich misstrauisch gegen meinen eigenen Rat, denn in der Absicht nicht eigennützig zu erscheinen, rate ich Ihnen vielleicht zu sehr ab wieder zu kommen. Bedenken Sie, dass Sie in der Chemie sich unterrichten wollten, gelingt Ihnen das nicht in Heidelberg, nun so müssen Sie sich einen anderen Ort wählen, aber den ganzen Plan, der sehr geschickt war doch nicht fahren lassen. Nun wurde ich Ihnen raten geradezu die Zersetzungsprodukte oder Salzverbindungen eines Körpers zu studieren der in grösseren Massen käuflich zu haben wäre selbst wenn Sie eine schon ausgeführte Arbeit wiederholten; dabei lernt man erkennen, welcher Grad von Genauigkeit notwendig ist um zu einen brauchbaren Resultat zu kommen und lernt zugleich mancherlei Kniffe und Wege kennen, die das Prototyp für ähnliche Untersuchungen abgeben—und dann ist der Umgang mit H. doch jedenfalls sehr lehrreich; im nächsten Winter mehren sich vielleicht die Berührungspunkte zwischen ihm und Ihnen; schon jetzt schreibt er mir, dass Sie ihm gut gefallen. Jedenfalls werden Sie dort im Gedankenkreis näher geführt, den wir Ihnen nicht eröffnen können.

Aber dem setze ich selbst entgegen: man muss sich da aufhalten, wo man selbst sich am freiesten im Geiste fühlt, denn dort macht man die grössten Fortschritte; es würde Ihnen alle Vorteile eines Ortes nichts helfen, wenn Sie

I. M. Sechenov in 1860.

aus inneren Gründen nicht von Ihnen benutzt werden könnten. Treffen Sie in Heidelberg keine Landsleute? Ist Ihnen die Kleinstädterei gar zu langweilig?

In Wien hat es nicht viel neues gegeben. Einbrodt hat einige hübsche Sachen gefunden; aber man kann sie nicht deuten. Ich habe endlich die Speicheltemperatur zu Papier gebracht; es hat wie vorausgesehen zu keinem Resultat geführt, was besonders bemerkt zu werden verdiente.

So leben Sie für heute wohl; ein Brief an mich richten Sie nach Wien, wo Salfenmoser der getreue statt meiner wacht. Ihr treuergebener

C. Ludwig

Vöslau, 29/VII 59

Grüssen Sie Bunsen, Helmholtz, Piotrowsky und geben Sie mir bald Nachricht ob ich die Separatabdrücke nach Heidelberg schicken soll.

Unsere Briefe, lieber Setschenow, müssen sich gekreuzt haben. Hoffentlich haben Sie mein schon aus Vöslau datiertes Schreiben erhalten, welches wenn auch spät Ihren ersten Brief beantwortete. Vorgestern war ich in Wien. Ihre Separatabdrücke waren noch immer nicht da, wohl aber brachte mir noch auf den Bahnhof Salvenmoser das Geld.

Das Honorar beträgt 56 Fl. 70 K., hievon ziehe ich ab
Quittung Stempel 20
Zeichner 10 oder 12 (ich muss erst in Wien nachsehen, was ich ihm gegeben)

---

bleibt 46 od. 44 Fl. 50 K.

Wohin soll ich das Geld schicken? Soll ich es in pr. Papier umtauschen. Das Agio steht 16,5, also in preuss. Taler etwa 178, es würde demnach in Silber sein etwa 25—26 rb. Oder soll ich für den Fall aufheben, dass Sie wiederkommen?

Auf Herrn Schäfer freue ich mich sehr; Ihr Urteil ist mir in solcher Weise ausgesprochen doppelt rathvoll. Sonst weiss ich nichts neues; noch immer brüte ich über den Harn des Lehrbuchs; dass es mit ihm so langsam geht schreibe ich der Hitze zu, wo man mehr schwitzt als h—. Tausend Grüsse an Helmholtz: sagen Sie ihm, dass Brückers Frau von einem harten Typhus seit Vorgestern (wo sie schwitzte und der Puls sank) auf der Reconvalescenz begriffen ist. Wir sind sehr froh darüber. Einbrodt verlässt in dieser Woche Wien um durch die Schweiz zu ziehen. Wohin nächsten Winter weiss er nicht, ich habe ihm Paris geraten. Eine Abhandlung lässt er zurück. Sie sehen die Neuigkeiten fallen mir noch ein, man muss nur am Kopf rüteln.

Ihr treuer und beständiger

C. Ludwig

Vöslau, 8, Aug. 1859.

Nevertheless, Sechenov remained in Heidelberg. During the autumn vacations, he and Mendeleyev took a trip to Switzerland. They walked all over the country. In the beginning of the winter term, Sechenov received a new model of his gas-pump and began to study the gases of milk in Helm-

holtz's laboratory. A small legacy left him by an aunt enabled him to prolong his stay abroad and even to go to Paris for a few days during the Christmas vacation, in the company of Mendeleyev and Borodin (the chemist and composer). Soon after his return from Paris, and just as he was preparing to leave for Russia, he and all his fellow-workers were upset to learn of the illness and subsequent death of Mrs. Helmholtz. The following letter from Ludwig is connected with this event.

Lieber Setschenow.

Wir haben heute einen traurigen Tag gehabt, die Todesnachricht von Helmholtz' Frau hat mich sehr ergriffen. Einen so tieffühlenden, edlen Menschen, für dessen Wohl wir alle zittren, konnte kein härterer Schlag treffen: ich würde Ihnen sehr dankbar sein, wenn Sie mir Nachricht geben wollten, wie er sein Schicksal trägt. Ich habe Ihnen einen Brief an H. beigelegt, den Sie gefälligst in seiner Wohnung abgeben wollen; da ich meine Briefe wenn ich Ihrer Ankunft sicher sein will recommandieren muss, so hielt ich es nicht für passend an ihn zu schreiben.

Ihre Abhandlung über die Fluorescenz der Linse habe ich mit Vergnügen gelesen, und sie kann wohl ganz gut neben der Ihres Pariser Concurrenten bestehen. Für die Teilnahme die Sie dem Gasapparat zuwenden, bin ich Ihnen sehr verbunden. Wenn Dr. Schäffer endlich zu arbeiten beginnt, so werden wir von Ihren Vorschlag zu profitieren suchen. Schäffer hatte so viel Unglück mit den Röhren, dass wir waren nahe daran nach Bonn zu schreiben. Da kamen die schönen Kugeln und nun hoffe ich auf seine Rückkunft von Freiburg. Unter uns gesagt, er ist ein braver und unterrichteter, auch ein geschickter Mensch; aber er bringt Ihre Beweglichkeit und Rüstigkeit im Arbeiten nicht mit. Wären Sie hier gewesen, so würde manches viel weiter sein.

Ihre Tante sei im Tod gesegnet; wer könnte nicht eine solche Tante brauchen! Wenn sie noch lebte so würden Sie ihr gewiss gern ihre Blutgase analysiert haben. Für Ihre Arbeit über Alcohol möchte ich Sie aufmerksam machen auf eine Untersuchung über die Mengen der ausgehauchten CO_2. Sie findet sich in den Proceedings of the Royal Society Vol. IX, Nr. 34, p. 611, Februar 1859. Er behauptet, dass Rum die CO_2 Expiration mehrt, während sie durch Brandy und Jin gemindert werden soll. Bunsen ist Mitglied d. R. Soc. und wird also wohl im Besitz der Sitzungsberichte sein.

Endlich möchte ich Ihnen raten Ihre Abhandlung, welche Sie hier gearbeitet noch in ein anderes Journal zu geben, als in unsere wenig verbreitete Sitzungsberichte. Am besten dürfte sie aufgehoben sein in den Annalen von Liebig. Sollte die Redaktion nicht geneigt sein, sie unverkürzt aufzunehmen, so würde ich Henle's Zeitschrift vorschlagen. Es bedürfte nur ein Wort der Erlaubnis non Ihnen, so wäre ich gern bereit die Sache zu beschleunigen.

Nun für heute tausend mal Lebewohl: Einbrodt ist wieder hier und seit einigen Tagen ein Herr aus Kiew, er heisst Stankiewitz, Sie kennen ihn wohl nicht.

In alter Treue Ihr

C. Ludwig.

3. Januar 1860

Having exhausted his resources, Sechenov left for Russia. He reached Petersburg in February, and gave the manuscript of his dissertation *(«Data for the future physiology of alcoholic intoxication»)* to Prof. Glebov. A month later, the public debates took place, and Sechenov was appointed Assistant-Professor of physiology in the Medico-Surgical Academy with the condition that he should begin his course of lectures immediately. The success of these lectures (which were begun in March) was very great. Sechenov had brought with him from abroad various instruments used in the physiology of nerves and muscles, such as Du Bois-Reymond's induction apparatus, Sauerwein's galvanometer, etc.; he accordingly devoted his first course of lectures to bioelectrical phenomena,—a branch of physiology which was at that time practically unknown in Russia.

To understand properly the rôle of the talented pupil of Du Bois-Reymond, Helmholtz and Ludwig, one must know the conditions of intellectual life in the Russia at that period. Doctor Bielogolovy,—one of Sechenov's contemporaries,—describes the late fifties the XIX century as «a period of stagnation». «The Government», he writes,—«was inimical to the centres of university education; artificial boundaries separated the country from the culture of the world. These conditions, of course, impeded the development of the sciences and fostered many evils: most university professors were unworthy of their high office; they were backward, ignorant and narrow-minded; their lectures reduced science to a dead scholastic system, defying progressive thought, representing the knowledge of their time as a thing immutable and final, and leaving no place for further activities of the human mind. These professors undermined the faith of the young students in the importance of science as a factor of progress».

Both the form and the contents of Sechenov's lectures produced an immense impression, not only on the academic world, but also on intellectual society in general. Sechenov's manner of speaking was simple and convincing; his method of exposition was absolutely new. With youthful enthusiasm and deep faith in the all-conquering power of Science and Reason, he taught his students to question Nature and to wrest an answer from her. He spoke not only of what had already been achieved, but also of what was yet to be done, disclosing untrodden paths of scientific research before his captivated hearers. The remarkable demonstrations with which he illustrated his lectures acquainted the students with the most recent technique of scientific experiment and taught them to use the language of facts. In this course of lectures, Sechenov was the first in Russia to enunciate the physiological teachings of his famous preceptors,—teachings which were new even in Western Europe. These lectures were ultimately printed and awarded a prize by the Academy of Sciences.

Sechenov's chief merit, however, was not the quality of his lectures, but his gift for teaching the young and inexperienced scholar to conduct independent research-work; in this respect we may confidently assert that Sechenov is the initiator of the Russian school of physiologists.

It was Sechenov's belief that «universities are places where science must not only be taught, but also developed; universities must be centres of

scientific research; only by working scientifically can we teach and learn[1]». In accordance with these principles, Sechenov organizes without delay a laboratory in the two rooms assigned to him,—and this laboratory was soon crammed with budding physiologists who were quite as enthusiastic as their young leader. In less than a year, papers from Sehchenov's laboratory began to appear in print.

During the years 1860—1863, the doors of the Medico-Surgical Academy were open for women. Sechenov was ever a warm supporter of women's education; the first two papers from his laboratory were by women: M. A. Bokova (later Setchenov's wife) and N. P. Suslova.

In their daily intercourse with Sechenov, his collaborators learned to value him as a staunch champion of truth and freedom. He inspired them with his deep faith in the great value of science. The Medico-Surgical Academy owes much of its prestige to the joint efforts of Sechenov and his friend Botkin. During Sechenov's professorate at the Academy, the study of physiology became a favourite occupation of the students. The son in Turgenev's «Fathers and Sons» is a physiologist and experiments on frogs.

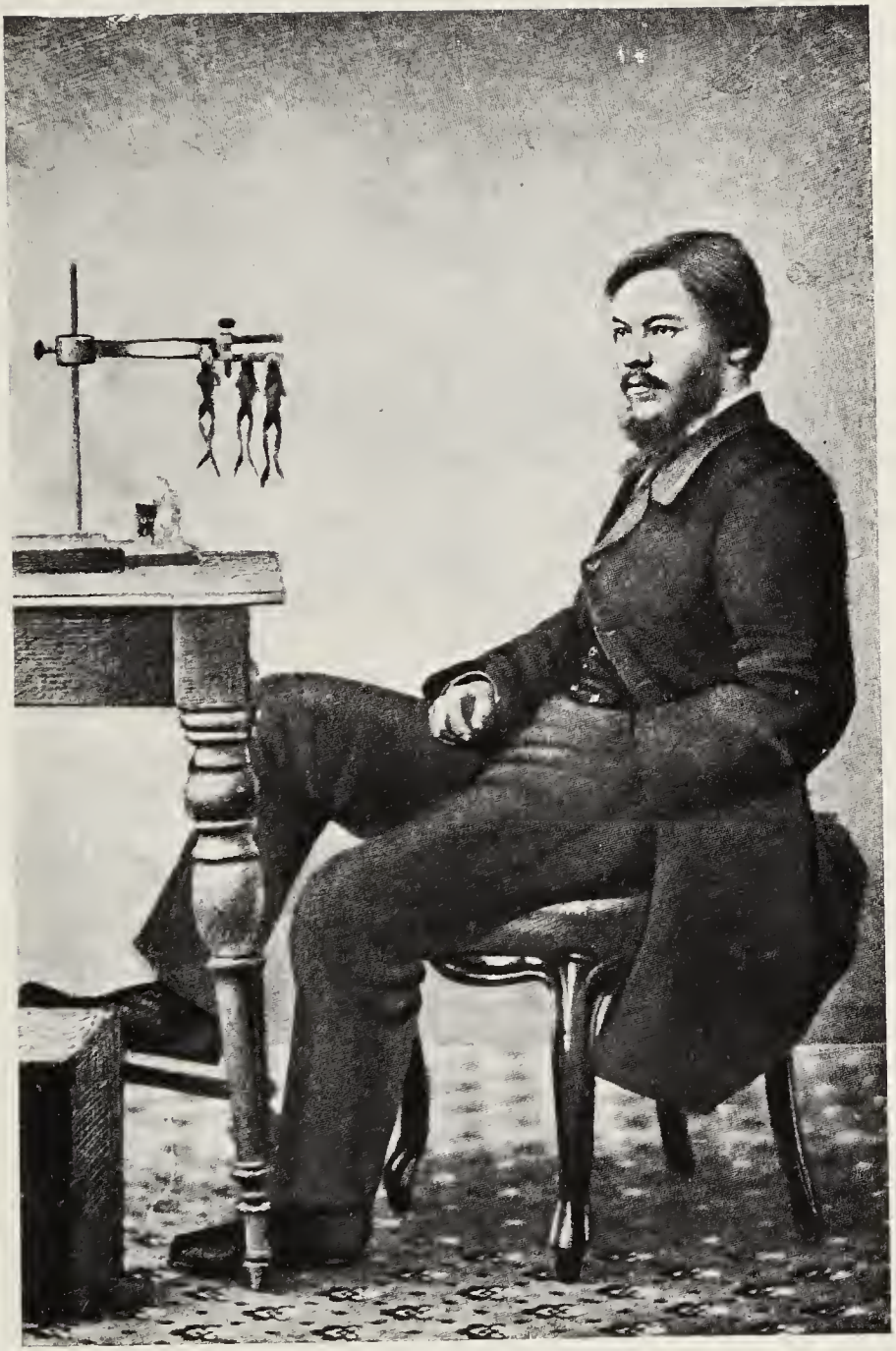
After the summer vacations, Sechenov began his systematic course of lectures, which finally established the young professor's reputation in the scientific world. In 1861, the eminent chemist N. Zinin, secretary of the Medico-Surgical Academy and an influential member of the Academy of Science, insisted that Sechenov should consent to be elected to the Academy of Science. The success of the election was assured. But Sechenov would hear of no such thing, he had to much esteem for the rank of Academician—he did not think he had done enough to deserve that supreme honour; nor did he deem it right to accept it on the strength of possible future deserts.

After two and a half years of strenuous work, Sechenov obtained leave in the autumn of 1862 and went to Paris where he worked through the winter in the laboratory of Claude Bernard and attended the lectures of this great scientist. His work in Claude Bernard's laboratory (chosen and conducted by him independently) was to study the nervous centres which inhibit reflex movements. The results of this investigation were published under the title of «*Physiologische Studien über die Hemmungsmechanismen für die Reflextätigkeit des Rückenmarks im Gehirne des Frosches*». The following two letters from Ludwig are concerned with this work.

Lieber Setschenow,

Täglich wollte ich Ihnen schreiben und danken für die Mitteilung Ihrer Tatsachen, aber immer war ich verhindert. Ihre Beobachtungen haben mich umsomehr interessiert, als ich schon seit mehreren Jahren hin und wieder mit demselben Gegenstand beschäftigt war und seit Ende vorigen Sommer mit Tomsa eine methodische Untersuchung desselben Gegenstandes begonnen habe. Ich beabsichtige nun euch nicht den Gegenstand fallen zu lassen, da wir beide (Tomsa und ich) doch von anderer Seite her zu dem

[1] See Sechenov «A brief survey of the research work of Russian universities in the field of natural sciences», «Vestnik Evropy», No. 11.



I. M. Sechenov in his laboratory in the Medico-Surgical Academy.

von Ihnen gemachten Schluss gekommen sind. Die Stelle welche verletzt sein muss, wenn die Hyperästhesie eintreten soll war mir auch schon bekannt und ich habe sie schon vorigen Sommer verschiedentlich demonstriert.

Da ich, wie Sie wissen, geringen Wert auf Priorität lege, sondern zufrieden bin wenn ein Gegenstand rein und gut zu Tage gefordert ist, so werde ich mich auch nicht beeilen mit meinen resp. unseren Erfahrungen an das Licht zu treten. Keinesfalls werde ich etwas darüber in der nächsten Zeit publizieren.

Was die Literatur der Anatomie anlangt, so ist sie zwar für den verlängerten Mark in Algesie bedeutend aber für das Hirn des Frosches ist mir wenig bekannt. Die Anatomie der Hirnnerven des Frosches hat von langer Zeit Volkmann bearbeitet (Müller's Archiv 1838) woher auch die icones physiol. ihre Zeichnungen genommen haben.

Zawarykin[1] ist ein fleissiger und brauchbarer Mensch; er arbeitet mit Eifer an der Niere die wir durch einige neuen Methoden hoffentlich aus der Ungewissheit herausbringen, in welche sie durch Henle's Bemühungen wieder gelangt war. Er hängt mit ganzer Seele an Ihnen und sein höchster Ruhm ist der Ihnen zu gefallen.

Wenn wir, Tomsa und ich, eine Versuchsreihe zum Abschluss gebracht haben, werden wir Ihnen jedenfalls die Resultate mitteilen.

Mit herzlichen Grüssen

Ihr treuer C. Ludwig

Wien, 25 Nov. 1862

Lieber Setschenow,

Ich habe allerdings zuerst mit meiner Antwort gezögert, weil ich von Geschäften überhaupt keine Zeit fand um einen langen Brief an Sie zu verfassen. Als ich Sie aber durch Ihren zweiten Brief in Unruhe wusste, habe ich sogleich geantwortet und mein Brief ist laut Postschein am 25. d. M. am Tage vor Ihrem Brief hier anlangte aufgegeben worden. Heute erhalte ich nun einen zweiten Mahnbrief den ich darum beantworte, weil ich sehe, dass Sie in Schmerz und Kummer sind. Ich fürchte nun wenn mein Schreiben mit der Nachricht, dass wir ebenfalls am RM. arbeiten zu Ihnen kommt, so werden Sie noch unruhiger und dieser Brief soll die Aufregung dämpfen. Tomsa und ich sind schon zu tief verwickelt um den Gegenstand ganz aufgeben zu können, aber ich wiederhole, dass obwohl ich seit längerer Zeit die Stelle kenne nach deren Verletzung die Hyperästhesie auftritt, ich noch gar nicht nach einer Publikation lustern bin. Wenn Sie Kühne sehen sollten, so wird er Ihnen vielleicht sagen können, dass ich ihm schon vor zwei Jahren den Vorschlag und teilweisen Plan zu einer Untersuchung über die Hemmungen d. R. M. gemacht habe. Um nun Ihre Arbeit ruhig ablaufen zu lassen habe ich Ihnen von der unseren absichtlich nichts geschrieben und es würde mir ebenfalls lieb sein, wenn Sie mir von der Ihren keine weitere Nachricht gäben. Ich meine nicht darum, weil ich fürchtete dadurch Gefahr für meine Sittlichkeit zu laufen, sondern darum, weil wenn zwei Leute an dasselben Rätsel gehen es besser ist, wenn keiner vom anderen was weiss. Die Garantie für die Sicher-

[1] Later professor of histology in the Medico-Surgical Academy.

heit der Auflösung ist dann eine grössere. Ich hoffe Sie werden sich beruhigen, ich weiss im Voraus, dass alles nach Ihrem Wunsch abläuft. Im ungünstigen Falle geben Sie einen versiegelten Brief an die Académie des Sciences.

Mit den herzlichsten Grüssen Ihr treuer

C. Ludwig

When his stay in Paris was coming to a end, Sechenov decided to go to München for a few days to see Pettenkofer's respiratory apparatus, and from there on to Vienna to show Ludwig his experiments with the inhibitory centres. He wrote to Ludwig, asking him to inform Pettenkofer of his intended visit. This brought the following note from Ludwig.

Lieber Setschenow,

Ihrem Wunche entsprechend sende ich den Brief an Pettenkofer, der Sie gewiss freundlich aufnehmen wird. Ich habe ihn aufgefordert Ihnen einen Versuch mit dem Respirationskasten zu zeigen und ich rate Ihnen den Versuch abzuwarten, selbst wenn Sie darum einen oder ein Paar Tage länger in München verbringen müssten. Wir hier freuen uns auf Ihre Ankunft und namentlich Zawarykin ist voll Hoffen und Bangen.

Auf baldiges Wiedersehen.

Ihr treuer C. Ludwig

In Vienna, Sechenov showed his experiments to Ludwig and Brücke who desired to see them, and in Berlin—to Du Bois Raymond. The demonstrations were most convincing and aroused great interest. After his return to Russia, Sechenov wrote a treatise based on these experiments, which he intended to publish in the «*Sovremennik*» (*«Contemporary»*)—a widely read monthly review—under the title of «*An attempt to establish the physiological basis of psychical processes*». But the censorial department permitted the publication of this treatise only in some special medical journal, and ordered that the title be changed on the ground that it showed «too clearly the conclusions aimed at by the treatise»[1] The treatise was accordingly published in the «*Medizinsky Vestnik*» and named «*The Reflexes of the Brain*» (see this volume).

Ludwig, hearing of all this annoyance, wrote on the 15th November 1863[2]:

Verehrtester Freund!

Obwohl ich mich, seit Sie mir das Erscheinen Ihrer Abhandlung angekündigt haben, immer auf dieselbe freute, so war mein Vergnügen erst recht lebhaft, als ich die gewichtigen Blätter in der Hand hatte. Ich habe im Lesen mir sogleich wieder die schönen Versuche ins Gedächtnis gerufen, die Sie mir zeigten und mit Hilfe der Anleitung, die Sie mir gegeben, ist es mir gelungen Ihre Tatsachen in einer meinen letzten Vorlesungen aufzeigen zu können. Ich brauche Ihnen nicht zu zurufen, dass Sie auf der betretenen Bahn, die Ihnen noch manche Entdeckungen sichert, fortfahren sollen. Auch davon

---

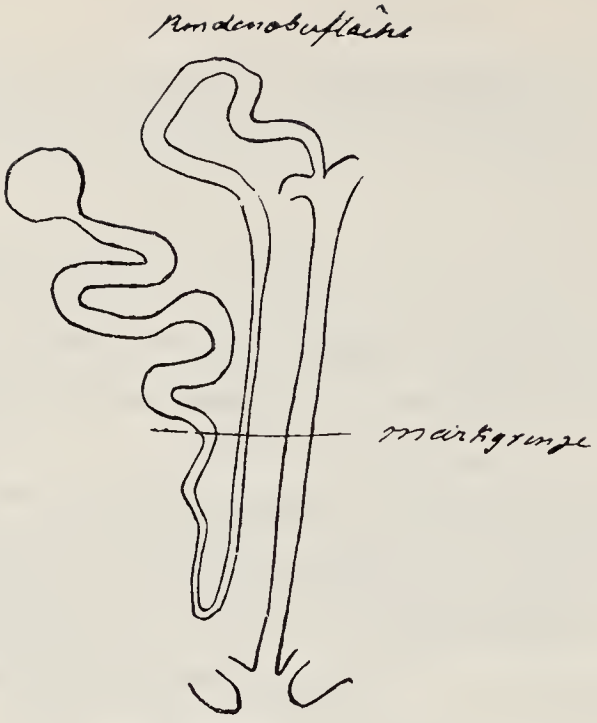
[1] See H. Konievetz «Censureship and science» in the daily paper «Russkia Viedomosty», 1905, No. 116. All the facts mentioned in this article are taken from official sources.

[2] See the facsimile of this letter.

Verehrtester Freund,

Obwohl ich mich, seit Sie mir das Erscheinen Ihrer Abhandlung angekündigt haben, immer auf dieselbe freute, so war mein Vergnügen ein recht lebhaftes als ich die gedachten Blätter in der Hand hatte. Ich habe sie gelesen, mir sogleich wieder die schönen Versuche ins Gedächtniß gerufen, die Sie mir zeigten, und mit Hülfe der Anleitung die Sie mir gegeben ist es mir gelungen Ihre Thatsachen in einer meiner letzten Vorlesungen aufzeigen zu können. Ich brauche Ihnen nicht zu sagen, daß Sie auf der betretenen Bahn, die Ihnen noch manche Entdeckung sicherst fortsetzen sollen. Auch davon habe ich mich überzeugt daß die Benutzung ganz anders rechts als die Säure an dieser Fundstelle gibt und Rücksicht auf die angegebene Schiffs Veranlassung zu unsäglichem Nachdenken.

Aus der Nicrinanatomie bin ich nun soweit daß schon betreffs am Neuen und ich werde Ihnen wenn die Abhandlung gedruckt ist Nachricht geben. Wenn ich wüßte wo Zaneschia steckte, von dem ich seit seiner Abreise nichts weiter gehört habe, so würde ich ihn wissen lassen in wessen das was unter seinem und meinem Namen gedruckt wird von dem Abdruck was wir schon gemeinsam heraus gebracht. Ich will Ihnen auf der umgekehrten Seite das aufzeichnen was ich über den Verlauf der Hautkanäle mittheilen kann.



Sie sehen daraus dass der Verlauf viel verwickelter ist als man gedacht und dass er uns Rücksicht auf die Harnabsonderung viel zu denken giebt. Einige Folgen dieses Verlaufs glaube ich schon entwickelt zu haben.

Was klingt denn von Ihnen in der Zeitung? Ich habe mir sagen lassen, gelesen habe ich es nicht selbst dass Ihre Schriften unter besonderer Beobachtung gesetzt sind. Ein so treuer Tabulen Hüter wie Sie sollte doch zu so etwas nicht kommen. Mich freut es wenigstens dass Sie sich wohl fühlen und besonders hat mich Ihre Neigung zum weiblichen Geschlecht imponirt. Da Sie nicht einer allein alles sein wollen so sind Sie zu vielen Viel und das Produkt aus beiden Faktoren wird sich wohl gleich bleiben.

Empfehlen Sie mich Ihr u. Frau Gemahlin und behalten Sie im Herzen Ihren treu ergebenen

Wien 15 Nov. 1863. C Ludwig

habe ich mich überzeugt, dass die Berührung ganz anders reizt, als die Säure und dieser Punkt allein gibt mit Rücksicht auf die Analgesie Schiff's Veranlassung zu ernsthaften Nachdenken.

Mit der Nierenanatomie bin ich nun, so weit es das Schwein betrifft, im Reinen und ich werde Ihnen, wenn die Abhandlung gedruckt ist, Nachricht geben. Wenn ich wüsste wo Zawarykin steckte, von dem ich seit seiner Abreise nichts weiter gehört habe, so würde ich ihn wissen lassen inwiefern das, was unter seinem und meinem Namen gedruckt wird von dem abweicht, was wir schon gemeinsam herausgebracht. Ich will Ihnen auf der umgehenden Seite das aufzeichnen, was ich über den Verlauf der Harnkanäle mitteilen kann. Sie sehen daraus, dass der Verlauf viel verwickelter ist, als man gedacht und dass er mit Rücksicht auf die Harnabsonderung viel zu denken gibt. Einige Folgen dieses Verlaufs glaube ich schon ermittelt zu haben.

Was stand denn von Ihnen in der Zeitung? Ich habe mir sagen lassen, gelesen habe ich nicht selbst, dass Ihre Schriften unter besondere Ueberwachung gesetzt sind. Ein so treuer Vaterlandsfreund wie Sie sollte doch zu so etwas nicht kommen. Mich freut es wenigstens, dass Sie sich wohl fühlen und besonders hat mich Ihre Neigung zum weiblichen Geist entzückt. Da Sie nicht einer allein alles sein wollen, so sind Sie nun vielen Viel und das Produkt aus beiden Werten wird sich wohl gleich bleiben.

Empfehlen Sie mich Herrn und Frau Botkin und behalten Sie im Herzen

Ihren treu ergebenen

C. Ludwig

Wien, 15 Nov. 1863

The views expressed in the «Reflexes of the Brain» had long been maturing in Sechenov's mind; this can be seen from the following items of the «general theses» preceding his dissertation:

«No. 2. All movements, known in physiology as voluntary are reflex movements in the strictest sence of the word».

«No. 3. The outstanding feature of the normal activity of the brain (as expressed outwardly in the form of movement) is the disproportion between excitation and effect (movement).

«No. 4. The reflex activity of the brain is more extensive than that of the spinal cord».

The result of his experiments with the inhibitory centres permitted Sechenov to draw an analogy between thoughts and «reflexes with an inhibited end» and between emotional acts and «reflexes with an augmented end». The fact that the actions of man in the course of his daily life are often incited by impulses from the outer world or from his own body and that the nature of the psychical activity of man is often obviously reflex,—is a proof that the reflex and the psychical act (in many cases, at least) are started in the same way, viz. are called forth by sensory stimuli. «The purpose of the treatise was to prove that all acts of conscious and unconscious life, are, from the point of view of their origin, reflexes»; or more exactly: 1) «that the voluntary activity of man is composed of reflexes, the beginning of which is a sensory stimulation, the continuation—a definite psychical act, and the

end a muscular movement», and 2) «that in definite external and internal conditions (i. e. given a definite environment and a definite physiological state of the man), a given sensory stimulus will evoke a perfectly definite second and third element of the whole phenomenon». It follows from the above statement and from the fact that no reflex is possible without an external stimulus, that the psychical life of man is supported by the action of stimuli from the outer world upon his senses and by sensations arising from his own body, and that psychical life would be impossible in the absence of all senses. In the last paragraph of the treatise, Sechenov gives the picture of what would happen if a man were deprived of all his sense organs; this picture was confirmed many years later by the well known clinical observations of the physicians Adolph Strümpell[1] (Vienna) and Ziemssen[2] (München) on patients with the loss of nearly all sense organs. Consequently, Sechenov most definitely accepts Locke's point of view in regard to the sources of psychical life.

The ideas expounded in this work were so novel, so daring[3], the physiological analysis of psychical phenomena was so deep and these phenomena were elucidated with such vigour and talent that the book rapidly became known all over Russia and deeply stirred cultured society. No wonder it won Sechenov the love and esteem of Russian intellectual circles.

In the sixties of the last century the natural sciences were beginning to flourish in our country. A number of eminent students of this period have left a mark on science. But among them the name of Sechenov alone has remained closely and inseparably connected in our minds with this remarkable period in the history of Russian intellectual society: it has become for us a symbol of realism in biology and philosophy.

However, the praise called forth by the «Reflexes of the Brain» was not unanimous. Free and straightforward expression of scientific views was not officially approved. We have already mentioned the difficulties which the publication of the «Reflexes of the Brain» had met with at the hands of the censor. This persecution reached a climax in 1866, when «Reflexes of the Brain» appeared in book form. The sale of the book was forbidden by the Petersburg Censorial Committee.

Not content with this prohibition, the Committee, on the ninth of June 1866, summoned the Attorney-General of the Petersburg High Court of Justice to institute an action against Professor I. M. Sechenov, on the following grounds:

«Mr. Sechenov's treatise is an attempt to explain the psychical functions of the brain by reducing these functions to muscular movements produced in

---

[1] Adolph Strümpell, Pflüg. Arch., 1877; D. Arch. f. klin. Med. 22, 1878.

[2] Ziemssen. D. Arch. f. klin. Med. 47, 1891.

[3] On the copy presented by Sechenov to M. A. Bokova (his collaborator and future wife) with whom he was at this time becoming more and more intimate, he wrote the following addendum: «In conclusion, I wish to reassure the moral feeling of my reader. The teaching which I have expounded does not destroy the value of human virtue and morals: the foundations of our love for one another are eternal; in the same way, man will always value a good machine better and will prefer it to a bad one when he has the choice. But in addition to this negative merit of my teaching let me point to a positive one: only my point of view explains how man can acquire the greatest of all human virtues all-forgiving love, i. f. absolute understanding of the weaknesses of his neighbours.

response to external material stimuli. In other words, he regards all human acts without exception as purely mechanical processes. According to the author, every human action is caused by some external sensory influence without which thought is impossible. He says: «Love of truth, great heartedness, compassion, as well as the hatred of all opposite features of character, are developed by means of frequent repetition in our consciousness of emotional images (optical and acoustic), representing in a vivid form the virtues enumerated above»; and further: «At the basis of our passionate adoration for good deeds and aversion for vice, there lies nothing else but an exceptionally numerous series of psychical reflexes». According to Mr. Sechenov, the so-called «deep convictions» also belong to the category of impressions called forth by accidental external influences. Such are the authors final conclusions. He does not say a single word about the rôle of other factors in mental and spiritual processes. Even though he acknowledges the existence, in men of a certain type, of high moral principles acquired by them in the course of life (i. e. developed by means of the same accidental psychical reflexes), he still regards the behaviour of such men as an inevitable result of these principles; thus he says: «the presence of these principles makes it impossible to act in any other way; the behaviour of man is an inevitable consequence of these principles». The author denies the power of man to choose his mode of action at his own free will, wherein lies the chief merit of virtue and the responsibility for vice. He concludes: «the question whether the most voluntary of all actions of man depend completely upon external and internal conditions is thus answered affirmatively. This means that under similar external and internal material conditions, man must always act in the same way. The choice of one of many possible ends of the same psychical reflex is definitely impossible, and its apparent possibility is a mere illusion».

This materialistic theory reduces even the best of men to the level of a machine devoid of consciousness and free will, and acting automatically; it sweeps away good and evil, moral duties, the merit of good deeds and the responsibility for bad ones; it undermines the moral foundations of society and thereby destroys the religious doctrine of eternal life; it militates against the views of Christianity and the claims of the Penal Code; consequently, it leads to the corruption of morals. Mr. Sechenov has given his theory the form of a scientific treatise; but its style is far from scientific, it is written so as to be easily understood by the layman. This fact, and the low price of the book (80 copeks) prove that the author's intention is to make his theory accessible to a wide circle of readers. It follows that Mr. Sechenov's book «The Reflexes of the Brain» is directed to the corruption of morals; it is indictable as dangerous reading for people without established convictions, and as such must be confiscated and destroyed under Article 1001 of the Penal Code.

The Council of the Censorial Deparment has decided that Mr. Sechenov's book, being an exposition of extreme materialistic views expounded in such a manner as to seem based on the authority of science, must be destroyed even if it were not subject to Article 1001 of the Penal Code; for in the latter case it is indictable under Article 151 of this Code, establishing that «... In those cases when no definite penalty is established for a particular criminal

act, the court sentences the criminal to one of the penalties established for crimes which are analogous by their nature and degree».

One year later, on the 24th of June 1867, the Head of the Ministry for Justice, Prince Urussov, informed the Minister for the Interior that the Attorney-General Tisenhausen had officially written to him that Professor Sechenov's treatise did not transgress the exact meaning of any of the Articles of the Penal Code, and that no action could be taken against the author for the following reasons:

«1) The author does not repudiate in his book the principles of morality and religion, nor does he question the immortality of the soul. He does not dispute the doctrines of Christianity, or deny the accountability for criminal actions. The purpose of the treatise is solely to explain the action of external stimuli upon the nervous system, and the reflection of this action in the brain as the organ of thought. It does not deal with the human soul; indeed, the author himself writes in the treatise that he hopes the representatives of the science dealing with the soul will point out the defects of his work. Consequently, Sechenov's teaching, if it is erroneous, must be dealt with by means of scientific discussion, and not by means of legal procedure in the Criminal Court.

«2) Even if it is proved that the author defends the teaching of materialism, he cannot be indicted under the present Penal Code, because this Code does not condemn the defense of materialist views as such, if this defense is not accompanied by a direct repudiation of morality and Christian principles.

«3) The Article of the Penal Code indicated by the Censorial Committee can in no way be applied to the present case, for this Article concerns only those authors whose published books or articles are patently immoral or indecent. There is not a single line in Professor Sechenov's treatise which could be condemned from this point of view».

In his letter to the Minister for the Interior, Prince Urussov supported the Attorney-General's view. He was doubtful as the issue of such a law-suit if it were brought to Court; «the more so»—he wrote—«that an open trial of Sechenov's book would merely draw public attention to it and thereby lead to the further dissemination of materialistic doctrines in society». He added that the book was undoubtedly harmful, but that its style was so ponderous and scholarly that it could hardly become popular reading if it were left to its fate. On these grounds, Prince Urussov seemed it advisable to discontinue the proceedings against Sechenov book. This decision was approved by the Minister the Interior; the Minister pointed out, however, in answer to the assertion of the Attorney-General that the book contained no reputation of religion and morals, that though the author avoided direct deductions concerning the spiritual nature of man, there could be no doubt as to the actual meaning of his theory. He wrote: «To explain in a popular book, even from the physical point of view, all the inner activities of man as reflex actions due to the influence of external agents upon our brain,—is not this an attempt to substitute a new doctrine which recognizes the existence only of the material side of man for the doctrine of the immortality of the Soul?»

«On account of this book»,—writes Sechenov in his autobiography,—

I. M. Sechenov (centre) with his friends: the anatomist V. Gruber (right) and the internist S. Botkin.

«I have been accused of being an involuntary propagator of immorality and nihilistic philosophy. Unfortunately, the censorial rules of the time prevented my publishing a straightforward explanation. Such an explanation would at once have put an end to the misinterpretation of my words. Indeed, my opponents can accuse me of asserting that every act,—irrespective of its contents,—is predetermined by the state of the organism; that the execution of this act is called forth by some external,—sometimes quite insignificant,—stimulus, and the act itself is inevitable; and that, consequently, even the worst criminal is not responsible for his crimes. They can say, moreover, that my teaching gives rein to shameful deeds by persuading depraved persons that they are not responsible for what they do because they cannot help doing it. This last accusation is the result of an obvious misconception: in my treatise, I write not only about reflexes which call forth movements, but also about reflexes ending in the inhibition of movements. The first correspond to the carrying out of good actions; the second—to the resistance of man to all impulses, including criminal ones. I did not think it necessary to discuss the problem of Good and Evil in my treatise; my object was to analyse actions in general, and I merely asserted that under given conditions not only actions, but also their inhibitions are inevitable, in obedience to the law of Cause and Effect. Is this an apology for vice?

As for the supposition that my teaching removes the conception of guilt and moral accountability by asserting that man is not answerable for his actions,—I reply that I establish the irresponsibility not only of the criminal, but also of the constituted authorities that punish him; but I do not justify his crime as an evil, nor do I excuse the various degrees of depravity of criminals. Consequently, I recognise the right of the State to defend Society from Evil[1]».

In the autumn of 1863, Sechenov resumed his intense scientific and pedagogical work in the Medico-Surgical Academy. He worked with his pupils,—Berezin, Matkevitch, Pashutin, Voroshilov, Tarkhanov, Litvinov, Spiro[2] and others, investing various problems, mostly concerned with the physiology of the central nervous system; during the next 3—3½ years, he publishes about 10 scientific articles. During the same period, an event occured which affected Sechenov very deeply: the Government cancelled the right of admission for women to the Medico-Surgical Academy. This frustrated

---

[1] In 1915, a solemn sitting was held at the Moscow Scientific Institute in commemoration of the tenth anniversary of Sechenov's death. I. P. Pavlov, who could not come as originally intended, sent the following telegram: «Unable to be present personally, I permit myself to take part in the Assembly at least by cable. Sechenov's teaching of the reflexes of the brain is, in my opinion, a sublime achievement of Russian science. The application of the reflex principle to explain the activity of the higher nervous centres is a proof that causality can be applied to the study of the highest forms of organic nature. For this reason the name of Sechenov will forever remain dear to the Russian scientific world. Professor I. Pavlov».

[2] Pashutin was afterwards Professor of pathological physiology and Head of the Medico-Surgical Academy, Voroshilov—Professor of Physiology and Head of the Kazan University, Tarkhanov—Professor of Physiology of the Medico-Surgical Academy, Spiro—Professor of Physiology of the Novorossiysk (Odessa) University. Litvinov became an eminent alienist.

the plans of the women who were working in his laboratory and who were preparing to enter the Academy as students. Setchenov's petition to the authorities was of no avail: no exception could be made for his pupils, even though they had already passed the entrance examinations. One of them, Miss Suslova, left at once for Zürich where she entered the Medical faculty; the other one—his wife—hesitated to do so, and Sechenov was ready to send in his resignation then and there, and to go with her to Vienna to work in Ludwig's laboratory while she would study obstetrics. He wrote of this to Ludwig, and received the following reply.

Lieber Setschenov,

Ich beeile mich nachdem ich Nachrichten über das Hebammen-Institut erhalten, Ihnen zu antworten. In Wien kann nur diejenige als Hebamme lernen, welche in das Institut tritt, das von Professor Späth an einer Abteilung des allgemeinen Krankenhauses geleitet wird. Diejenigen, welche eintreten wollen, müssen zwischen dem 1—8 Oktober oder 1—8 März anwesend sein. Nach diesem Termin kann niemand Zutritt erhalten: der Kurs dauert 5 Monate; am Ende desselben empfängt die Schülerin nach abgelegten Examen ein Diplom, welches 35 Fl. und 53 K. kostet. Die Schülerin wohnt in einer Privatwohnung nach belieben. Sie wird aber zeitweilig auf einige Wochen (2) in das Krankenhaus citiert und sie muss dann dort Tag und Nacht verweilen.—Späth sagte mir, dass öfter aus der Umgegend von Odessa Damen hier gewesen seien. Mir ist es unendlich leid, dass man Ihren physiologischen Unterricht für Damen zerstört hat. Was denken sich nur die Störenfriede. Gerade durch solche Bestrebungen wäre es möglich gewesen Petersburg ein ganz eigentümliches Gepräge zu geben. Ich hoffe nun auch, dass diesmal der Wille der gebildeten Welt stärker ist, als der der Polizei; wenn die erstere etwas ernst kommt, so sind die wenigen Beamten, bei uns wenigstens, nicht stark genug gewesen es zu verhindern. Noch mehr tut es mir leid, dass Sie durch die Angelegenheit so affizirt sind, dass Sie daran denken die Akademie zu verlassen. Dort ist doch Ihr eigentlicher Boden, und an ihn müssen Sie mit aller Energie festhalten.—Also auch Sie machen an den Assist. Erfahrungen; wem wäre das nicht schon begegnet und es ist darum immer geraten sich so fern, oder besser so hoch zu stellen, dass sie nicht an uns erreichen. Man muss ihnen die Hand reichen, aber sich weder auf sie stützen, noch sie drücken, sondern höchstens emporziehen.

Auf das Resultat Ihrer neuen Hemmungsversuchen freue ich mich; ich bin sehr begierig: nun dass die von Durchschneidung der hinteren Stränge herrührende Hyperäst. gar nichts mit der Hemmung zu tun haben soll, will mir noch nicht recht eingehen.

Da sich hier viel Libellen finden, so wird auch Aeshna hier vorkommen, es steht also von dieser Seite kein Hinderniss entgegen; da aber von anderer nur Freude über Ihr kommen sein würde, so hoffe ich Sie nächsten Sommer hier zu sehen.

Mit tausend Grüssen an Herrn und Frau Botkin

Ihr alter und getreuer

C. Ludwig.

Wien, 2. Nov. 1864.

M. A. Bokova.

On further consideration Sechenov decided (partly, perhaps, under the influence of this letter) not to retire from the Academy but to stay in Russia. He continued his work with increased energy. To satisfy the students' need for up-to-date textbooks, he published his *Course of Physiology of the Central Nervous System* and translated from the German the chapter on the physiology of vision from Fick's textbook, making considerable alterations; he also translated in collaboration with his wife (before her departure to Zürich) Hermann's «*Principles of physiology*» and Kühne's «*Course of Physiological Chemistry*». All this was done during $3^1/_2$—4 years and naturally, required a great deal of work. The laboratory where he spent most of his time was situated (as was discovered only later) just over an old disused cesspool. No wonder even his robust health was overtaxed. On Botkin's advice, Sechenov took a year's leave and went abroad for medical treatment. After a cure in Carlsbad, he rapidly got better, and instead of prolonging his holiday, went to Gratz to work in the laboratory of Professor Rollett, an old friend of the Vienna period,—on a series of experiments with the electrical and chemical stimulation of the sensory fibres of the sciatic nerves of decapitated frogs,—i. e. preparations in which only the reflex centres of the spinal-cord remained intact,—and frogs deprived of the cerebral hemisphere only,—i. e. preparations with intact centres of locomotion. The results of this work were published in 1868 («*Ueber elektrische und chemische Reizung der sensiblen Rückenmarksnerven des Frosches*»,); they are a further development of Sechenov's research on inhibitory centres. They establish,—contrary to the point of view of Schiff and his school,—that the inhibition of reflexes brought about by the stimulation of sensory nerves, is not due to the exhaustion of the nerve centres.

Upon his return to Russia in the winter of 1868, Sechenov undertook to give a course of public lectures in the Painter's Club. These lectures were a great social event in Petersburg. The hall was always full; many outstanding men came to hear Sechenov, among them I. Turgenev. Sechenov took part in the attempt of a group of intellectuals to obtain the permission of the Government to open a private University for women. Several years passed before the permission was finally granted, and the «Higher Courses for Women» were opened; by that time, however, Sechenov had resigned from the Academy and left Petersburg.

Sechenov's professorship in the Medico-Surgical Academy came to an end in 1870, in the following circumstances. Sechenov had proposed Elias Mechnikov as candidate for the vacant post of lecturer in zoology. Mechnikov held the chair of Zoology in the Odessa University, and was already a distinguished scientist. Before the ballot, one of the Members of the Academic Conference declared that Mechnikov's scientific merits were so great that he fully deserved to be elected to any post, be it even that of Member of the Academy of Sciences; but that this very reason made his candidature for the post of lecturer of the Medico-Surgical Academy impossible: up to then the chair of Zoology at the Medico-Surgical Academy had been held by an Assistant-Professor, since zoology was a subject of minor importance in medical education; if Mechnikov were elected, a full professorship would have to be created for

him. The Conference rejected Mechnikov's candidature by a majority of one vote, and Sechenov sent in his resignation.

This protest on behalf of science concludes the first ten years of Sechenov's pedagogical career. By the end of these ten years, Sechenov's talents were disclosed in the plenitude of their powers. A great scientist and philosopher, a staunch champion of culture, a man of high moral principles,—he personified the exalted and noble type of which he writes in the «Reflexes»: «In their actions they are guided only by high moral motives, by truth, love of man, understanding of human weaknesses; they remain true to their convictions in spite of all natural instincts because the voice of these instincts is weak compared to the satisfaction which the knight receives from truth and the love of man. These people, once they have become so, cannot be changed; their activity is an inevitable consequence of their development». All the subsequent 35 years of his life, Sechenov remained true to the ideals of his youth.

Soon after leaving the Medico-Surgical Academy (in the same year,—1870) the Council of Odessa University elected Sechenov to the chair of physiology of the physico-mathematical faculty: but Sechenov's nomination for this post by the Minister for Education was delayed till March 1871, and even then took place (as was later ascertained) only when the Principal of the district Educational Board took the responsibility upon himself. In the meantime, Sechenov worked in Mendeleyev's laboratory. At Mendeleyev's suggestion, he occupied himself with the preparation and the study of the properties of nitrosomethylether. The results of this work have been published by Mendeleyev. Sechenov writes in his autobiography: «It was both useful and pleasant to have such a teacher as Mendeleyev; but I had tasted too much of physiology to forsake it, and the chemists were unable to conquer me».

True to his principle that to teach and to learn one must experiment, Sechenov organized scientific researches in his laboratory immediately upon his installation in Odessa. Very soon scientific papers begin again to appear from his laboratory,—among them one in collaboration with Mechnikov. It was in Odessa also that Sechenov wrote his criticism of Kavelin's book «*The task of psychology*», and the treatise «*Who must investigate the problems of psychology, and how*». These two articles aroused immense interest in intellectual circles in Russia. The task of psycho-physiology, according to Sechenov, is to determine the material substratum of psychical processes. Protesting against the accusation that the «Reflexes of the Brain» was an attempt to «explain the spiritual activities of man by means of material principles», Sechenov writes, in the first of these articles: «Every scientist, who has any knowledge of natural sciences to speak of, and especially of physics and chemistry, is too well acquainted with the meaning of the word «explanation» to write such nonsense on his psychological scutcheon. The misinterpretation of my views is due to a wrong use of the word «explanation by the layman: when the scientist discovers some superficial analogy between a somatic process and an undoubtedly psychical act, the layman infers that the scientist is entirely reducing the psychical to the material»[1].

[1] «Psychological Studies», p. 115 (Russian).

In accordance with the principle of science to proceed in the study of nature from the simple to the compound, Sechenov believed that «Scientific psychology must be a series of theories concerning the origin of psychical processes».

In Odessa, Sechenov began the absorptiometric investigations which form the second principal work of his life and were continued with greater or lesser intervals throughout 25 years. It was his first intention, when constructing his absorptiometer, to study systematically the quantitative relationship between the various constituents of the blood and its content of CO_2, with the purpose of determining thereby the state in which this gas is present in the blood, and the dynamics of its respiratory exchange. But the very first experiments made it clear that the study of CO_2-absorption could not be begun with a liquid of so complex a composition as blood. «Having learnt by experience the futility of trying to disentangle the intricate problem of the state of CO_2 in the blood without a preliminary study of the laws governing the absorption of this gas by salt-solutions, I began in 1872 a series of experiments with salts, with the intention of applying the data thus obtained to the absorption of the same gas by the various constituent parts of the blood. In 1875, this work was completed, and the results were published by the Academy of Sciences under the title of «*Ueber die Absorbtion der Kohlensäure durch Salzlösungen*». This was followed by the publication, in 1879, of the second part of the work «Die Kohlensäure des Blutes»,—also by the Academy of Sciences. These two papers,—in spite of the considerable interval between their publication,—and in spite of the seeming difference of subject-matter, are indivisible parts of one whole, both in idea and methods».

The results of this work can now be found in any textbook on physiology: they show that the corpuscles of the blood participate in the respiratory exchange of CO_2 by means of their haemoglobin, and that the discharge of CO_2 from the blood into the air takes place according to the same laws as the diffusion of gases dissolved in liquids into the air.

In 1876, the physico-mathematical faculty of the Petersburg University elected Sechenov to the chair of physiology. Ludwig congratulated Sechenov on his return to Petersburg in the following letter.

Lieber Setschenow!

Der September geht zu Ende und mit diesem beginnen in St. Petersburg die Vorlesungen, so kann ich hoffen, dass ein Glückwunsch den ich Ihnen schon längst senden wollte, bei Ihnen eintrifft. Die Rückkehr vom Schwarzem Meere zur Ostsee kann uns nun erwünscht sein. Wenn Sie auch selbst und für sich in der Wissenschaft aller Orten gleich viel leisten können und geleistet haben, so ist es, ich möchte sagen, für die Organisation der Physiologie in Russland von Bedeutung, dass Sie in der Zentralstelle Einfluss üben.

Um der Zeit, in welcher Sie von St. Petersburg abwesend waren, mag sich die Luft vielfach verändert, aber auch, wie ich hoffe, insofern gereinigt haben, als die jungen Elemente deren Stellung früher unklar war, nun alle durch ihre Taten abgestempelt sind. Neue Leute werden Sie, soweit ich mich entsinne, kaum treffen, vielleicht nur N. Baxt, der damals, als Sie fortgingen, noch bei Helmholtz arbeitete. An ihm werden Sie einen Mann von siche-

ren und reinen Grundsätzen aber sanfter Gemütsart kennen lernen, mit dem Sie gewiss sehr bald einen Modus vivendi finden werden. Die Schätzung seiner wissenschaftlichen Arbeiten wird Ihnen das gute Verhältnis zu ihm erleichtern. Alles dieses schliesse ich nicht nur aus seinen Beziehungen zu mir selbst, sondern auch aus denen welche er zu den sehr verschieden gearteten Leuten gewonnen hat, mit denen er hier auf längere Zeit in verschiedenen Jahren zusammengearbeitet hat. Bei der Uebereinstimmung im Urteil über Persönlichkeiten, die sich zwischen uns beiden so oft zu meiner Freude eingestellt hat, rechne ich auch dies Mal darauf, dass es Ihnen leicht wird dem jungen Manne mit Wohlwollen entgegen zu kommen. Geschehe dieses, so würden Sie mir eine grosse Freude machen und manches schiefe Urteil beseitigen, das sein Schatten auf die kollegialischen Verhältnisse in Petersburg wirft.

Mit diesem Briefe sende ich auch den 10. Jahrgang der Arbeiten im Phys. Institute zu Leipzig. Sie werden vielleicht ungehalten sein, dass ich noch immer von der alten Leidenschaft erfüllt bin, aber leider jedes kleinste erfolgreiche Schrittchen drängt zu weiteren und diesem Antriebe kann ich mit meinen geringen Kräften nicht wirderstehen. So muss ich willenlos vorwärts.

Grüssen Sie herzlichst Botkin, bleiben Sie mir gut und seien Sie stets freulich und wohlgemut.

Ihr getreuester C. Ludwig

Leipzig, Waisenhaus Strasse 30, 23.IX—76

Ludwig was right: Sechenov really obtained the best of conditions for his scientific and pedagogical work in the Petersburg University. He turned again to the absorptiometric study of salt-solutions, with the purpose of determining the influence, on the absorption of CO_2, of the nature of the solvent and the concentration of the solution.

This investigation established the existence of a definite law determining the dependance of the degree of absorption of CO_2 on the concentration of the solution, and served as basis for the classification of salts according to their absorbing power and absorptiometric relationship.

In addition to these physico-chemical investigations, Sechenov performed during the same period a series of physiological experiments; it suffices to mention his observations on galvanic phenomena in the medulla oblongata of the frog, complexing his study of the inhibition of reflexes, and his theoretical work dealing with the composition of alveolar air.

Sechenov's pedagogical work during this period was also very important; the list of his pupils in the Petersburg laboratory includes N. E. Vedensky,—the late professor of Physiology in the Petersburg University (Sechenov's successor); B. F. Verigo, the late Professor of physiology in the Universities of Odessa and Perm; N. P. Kravkov,—the late Professor of pharmacology in the Military Medical Academy; G. A. Nadson, Professor of microbiology in the Petersburg University—now Member of the Academy of Sciences of the USSR; S. S. Salaskin, late Professor of physiological chemistry and Director of the Medical Institute for Women in Petersburg; N. G. Ushinski, Professor of general pathology in the Warsaw University, now Pro-

I. M. Sechenov during his stay in Odessa.

fessor of the Medical Institute in Krasnodar; G. V. Khlopin, late Professor of Hygienics in the Universities of Dorpat and Odessa and in the Military Medical Academy, etc.

In Petersburg, Sechenov had again occasion to forward the progress of women's education. As already said, during his absence from Petersburg a group of intellectuals had succeeded in obtaining the permission of the Government to open Courses for Women (called the «Bestushev Courses», after the name of the first director), with the faculties of philology and natural sciences. Sechenov undertook to teach physiology at these courses. The Government had granted the permission only under the pressure of public opinion. The courses were forbidden to confer University degrees on the graduates; indeed, the students of the courses sometimes even lost the right to become school teachers on the strength of their high-school diplomas, owing to the expiration of the term of the diploma during the period of their study at the courses. Therefore no one entered these courses to obtain a degree; and very few came merely to pass the time, or because it was fashionable to do so. Most students came purely for the sake of knowledge; they took their work very seriously; the teachers and pupils treated each other with confidence and esteem. In later years, Sechenov used to say that teaching at the courses was a source of moral satisfaction and might have changed the most ardent enemy of the education of women into a zealous supporter of the courses.

In the middle of the eighties, another attempt was made to elect Sechenov to the Academy, and he was duly elected in the corresponding section of the Academy by a vast majority of votes. But the Minister for the Interior and President of the Academy Count Dimitri Tolstoi vetoed the second (and decisive) vote in the General Assembly of the Academy. In 1877, the Minister for Education Delianov declined the petition of the Petersburg University to grant Sechenov the rank of Emeritus Professor, although he was even formally entitled to it, having by that time occupied the post of professor for more than 25 years.

But above all, the last years of Sechenov's stay in Petersburg were darkened by the fate of his absorbtiometric researches. The importance of the law established by Sechenov for the absorption of CO_2 by salt solutions had been recognised by the chemists; but they were inclined to regard this law as a special case, correct only in the case of CO_2, pointing to the necessity of testing its validity before accepting its general applicability. Such a test was, however, practically impossible, owing to the low solubility of other easily procurable gases (O, H, N), and to the great difficulty of working with less acessible gases. This vexed Sechenov very much, for it deprived the work of many years of its main point—of serving as a key to a vast class of phenomena. This temporary check was sufficient to make him feel that his stay in Petersburg was useless, even unadvisable, and he decided to give up his professor's chair in Petersburg for the more modest post of lecturer in Moscow. Such was Sechenov's severity to himself and consideration for science. He accordingly resigned in 1888 and took a year's rest in his wife's estate. In 1889 he returned to his Alma Mater, the Moscow University, to remain there till the end.

In 1889—1890 Sechenov began his lecturer's course at the University

and his lectures on the physiology of the central nervous system for medical practitioners at the Doctor's Club. The success of these lectures (subsequently published under the title of «*Physiology of the Central Nervous System*») was very great, and the fee for the lectures at the Club was so considerable that Sechenov resolved to open a small private laboratory, the more so as the Curator of the University promised to place at his disposal the necessary rooms in the University building. In autumn 1890, Sechenov went abroad to purchase the instruments and apparatus for his laboratory. Naturally, he paid a visit to his old teacher and friend Ludwig in Leipzig. «My position of that time»,—writes Setchenov,—«was so insecure that Ludwig, without any hint on my part, told me that as long as he was alive there would be a place for me in his laboratory».

When Sechenov came back to Moscow in the spring of 1891, he did not find the rooms promised by the Curator ready and went away to spend the summer in his wife's estate, brooding over Ludwig's offer. In autumn, however, a telegram came from the Curator informing him of the sudden death of Professor Sheremetevski, and offering him, on behalf of the Medical Faculty, the vacant chair of physiology. «Knowing I would be more useful in this capacity than as a lecturer without even a place to work in, I felt it was my duty to accept; during the ensuing ten years (1891—1901) I had no reason to regret my decision».

It is easy to imagine with what impatience Sechenov's first lecture was awaited by the students of the second course (the author of this sketch was one of them). The hall was crowded by students of the medical and physico-mathematical faculties; the seats were all occupied; the gangways, even those leading to the platform, were crammed. The tension increased every minute, and when at last the door opened and Sechenov came in, making his way through the throng, the pent-up feelings broke out in a storm of applause. Sechenov was obviously affected by the student's reception. Without raising his head, in a faltering voice, he began: «With deep gratitude I have accepted the high honour which my *Alma Mater*, the Moscow University, has conferred on me by electing me to the chair of my late and esteemed colleague, F. P. Sheremetevski». After this he passed to the importance of physiology as a science and to the classification of its subject-matter. His voice became stronger, resuming its usual ringing notes; the phrases came flowing in a harmonious stream; his eyes gleamed with enthusiasm. Once again he was leading a young generation forward.

At about the same time, Sechenov was able to prove, on the strength of Bodländer's experiments, that his law of absorption of CO_2 by diluted solutions of acid was equally valid in those cases when CO_2 is absorbed by solutions with which it does not react. The importance of Sechenov's law for a wide range of phenomena was further substantiated by the Moscow chemist Yakovkin, in a paper on «*The Distribution of Substances between two Solvents, as applied to the Study of chemical Statics*» (see the Scientific Records of the Moscow University, Section of Natural Sciences, No, 12, 1896), Sechenov was highly gratified by this confirmation of his labour of many years. He wrote of it to Ludwig, also informing him he had accepted the chair of physiology in the Moscow University. Here is Ludwig's answer.

Lieber Setschenow!

Als ich vor einem Monat in der Wiener Presse die Todesanzeige von Scheremetjewski las, machte ich mich Sorge um Ihre Pläne.

Mir schien es möglich, dass man Ihnen einen anderen unbequemeren vorschieben könnte. Ihr Brief hat mich von dieser Sorge befreit.

. . . . . .

Dass ich mich über Ihren Eintritt in eine Ihrer Kräfte würdige Laufbahn gefreut, bedarf keiner Versicherung und wie gross meine Freude ist lässt sich mit der Feder nicht ausdrücken. Genug, Sie sind wieder da, wo wir Sie zu sehen wünschen.

Da Sie in Moskau vorzügliche Kollegen treffen und im Herzen des geliebten Volkes leben und lehren, so wird Ihnen eine neue Aera erblicken, reicher und glücklicher, als alle vorausgegangenen.

Ihr neuer Fund wird mir, wenn er mir erst gedruckt vorliegt, grosse Teilnahme abgewinnen. Wie dunkel war doch bis dahin was wir Lösung nennen. Unserm gemeinsamen Freund Ostwald, mit dem ich gestern sprach, erzählte ich von Ihren äusseren und inneren Erfolgen. Er sendet Ihnen Glückwunsch und Gruss. Gleiches trägt mir meine Frau auf, die von Jahren her eine warme Teilnahme bewahrt. Haben Sie doch schon in Wien mit unseren Kindern, — ach, damals waren es noch zwei, — freundlich sich beschäftigt.

In alter Treue

Ihr C. Ludwig

Leipzig, Liebigstrasse 16, Am 6. X. 91.

Another source of gratification for Sechenov was the installation in his Moscow laboratory of a very handy portable apparatus for measuring the respiratory exchange, in the construction of which the author of this sketch took part. Sechenov had all the qualities of the perfect teacher; to work under him was both pleasant and instructive. He never attempted to overwhelm his pupils by the immensity of his knowledge; always ready to help them in word and deed, he at the same time gave them an absolutely free hand in the conduct of their research-work. He endeared himself to his collaborators by his unfailing friendliness, the sincere pleasure he took in their successes, his readiness to help and encourage them whenever things went wrong in their scientific work or in their private life. He was most exacting in all matters of experimental technique; but this was perfectly natural, and offended nobody, because he was in this respect equally severe with himself. Sechenov's rectitude was extraordinary, the least trace of insincerity was for him a proof of worthlessness. In his intolerance to even the most innocent form of hypocrisy, he obstinately declined all celebrations and jubilees. I remember how once, in the spring of 1895, when we were busy with the construction of the respiratory apparatus, three eminent scientists arrived — the physicist Stoletov, the chemist Markovnikov, and the plant physiologist Timiriazev. Acting as deputies of the University professorate, they informed Sechenov of the intention of the scientists of Moscow to celebrate the 35th anniversary of his professorship; they had come to fix the day of the festival. To their astonishment, Sechenov refused point-blank, and no amount of persuasion could urge him to change his mind. The

deputies,—Timiriazev in particular, insisted, pointing out that Sechenov had even no right to refuse; the celebration,—they said,—was a matter of social importance, and could not be approached from the personal point of view. In vain! Sechenov was not to be persuaded; he said he could not prevent them celebrating anything they liked, but warned them that on the day of the festival,—if it did take place,—he would absent himself from the town. When the deputies had departed, I asked Sechenov for the cause of his refusal. «My dear fellow,—he said,—such ceremonies always lead to exaggerations and extravagances. Besides, there is bound to be some talkative person who will say something that will make me want to sink through the earth. No, thank you! I don't want to be made a fool of before a gaping crowd».

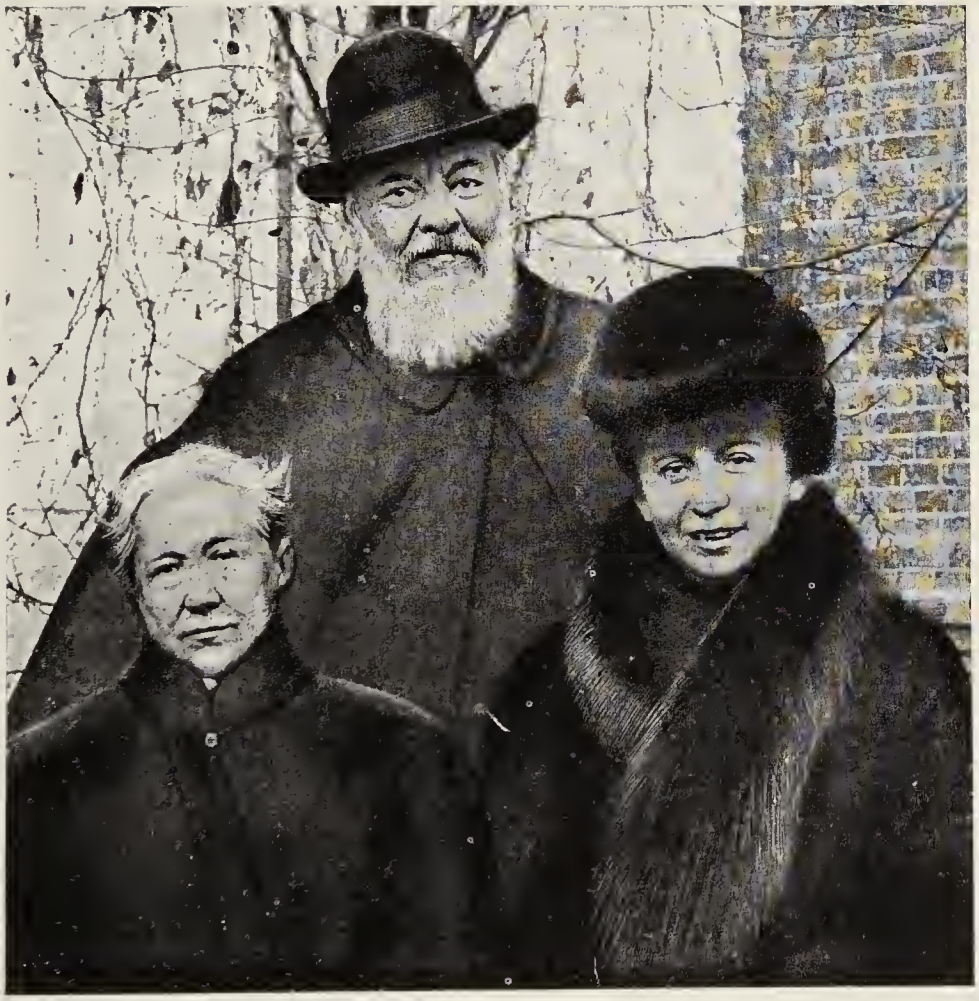
Soon after settling down in Moscow, Sechenov was asked to give «lessons» at the Women's Pedagogical Society[1]; of course he accepted with eagerness. «I shall always remember with deep satisfaction my lectures at the Courses of the Women's Pedagogical Society», writes Sechenov. «Here, as in the pleasant circle of my Bestushev students, reigned that atmosphere of freedom coupled with rectitude, friendship and mutual esteem, which can be met with in families with a high level of culture, and is a proof of the honesty of aims and the mutual devotion of young and old. Looking at all those young faces gazing at me with that look of rapt attention which I knew so well, I felt myself back again at the Bestushev courses. The purpose of this institution was to improve the knowledge of women-teachers and to give knowledge to would-be-teachers. It did not cost the government a farthing, gave no rights to its graduates, and functioned unmolested for many years. Not being, however, under official control (i. e. having no director and vice-director appointed by the State and receiving a salary) it was closed as soon the High Courses for Women with an official director were opened. Self-governing is not encouraged in our country».

Well knowing the penury of the members of the Society, Sechenov refused to be paid for his lectures («the poor young women can't be expected to pay»). The only «bribe», as he jokingly called it, which he now and then accepted was a bunch of grapes offered him in the break between two lectures by the manager of the courses, Mrs. Sheremetevskaya, whom he laughingly insisted on calling «our headmistress». It goes without saying that Sechenov was one of the most popular lecturers at the courses.

During this period, Sechenov delivered a series of public addresses, mostly to collect funds for educational institutions and destitute students. Two of these addresses, «*Impressions and reality*» and «*The duration of the working day from the physiological standpoint*» were much talked of in Moscow intellectual circles. The first appeared in print and will be found in this book.

---

[1] In the middle of the eighties, the Bestushev Courses in Petersburg were closed by the Government. Soon after this, the Women's Pedagogical Society was founded in Moscow. This Society obtained permission to organize «collective lessons» for women-teachers with the purpose of improving their professional qualification,—on condition, however, that only members of the Society would be admitted. The «lessons» were conducted by professors and lecturers of the Moscow University; there were two sections: natural sciences and philology. The Society was practically nothing else than the Bestushev Courses reopened under a new name and with free admittance for all.



I. M. Sechenov with his wife (left) and the celebrated soprano A. V. Neshdanova (right), in 1904.

The second was included later in the treatise on «*The working movements of man*». This treatise is the first Russian work on the physiology of labour.

In 1899, wishing,—as he put it,—«to give younger men a chance» Sechenov gave up both the obligatory course at the University and his lectures at the Courses for women-teachers. In autumn he delivered his last course at the University,—a series of lectures on the working movement of man. These lectures served subsequently as the basis for the above-mentioned treatise in which the future lines of development of the physiology of labour are worked out.

In 1901 Sechenov resigned his professorship for good; but he continued in the laboratory his last experimental investigation («*Zur Frage nach der Einwirkung sensitiver Reize auf die Muskelarbeit des Menschen*») and prepared at home a new edition of the «*Elements of thought*».

In autumn 1903, at the age of 74 he was again at work for the cause of education as lecturer at the Prechistenski evening courses for factory workers.

«When I first heard of this institution»,—writes Sechenov in his autobiography,—«I imagined the lectures must be a very primitive exposition of the rudiments of science; I was most surprised to hear that the program included chemistry,—a science unsuited for popularization,—and that the lecturer on chemistry was no less than M. I. Konovalov (later professor at the Kiev Polytechnical College). To put an end to my doubts, I was invited to one of his lectures. It was a really splendid adaptation of serious subject-matter to the intellectual level of the hearers. The course was so constructed that every new step forward was a logical deduction from one of the preceding steps. When making such a deduction, the lecturer asked the audience to give the grounds for it,—and invariably received a correct reply. I must add that the contents of the lecture was practically the same as that of the university course. I shall never forget the concentrated attention with which the audience followed the lecturer's clear and simple exposition and the experiments illustrating the lecture. My esteem for the audience increased still more when I learned that some of them come on foot from beyond the Butyrski Gates after their day's work at the factory. Many of them study foreign languages, some even English. God grant success and prosperity to this noble enterprise,—the precursor of a People's University!

Last autumn, I was asked to take up a course of lectures on anatomy and physiology at the Prechistensky courses and I readily accepted, knowing I was too much behind the times for lecturing at the university, but hoping I would be still fit for conducting an elementary course,—the more so as my good friend and collaborator M. N. Shaternikov offered his help as demonstrator. I was most gratified by the attention and understanding of my hearers. By the beginning of february, we were already through with the structure and movements of the skeleton (including the function of the joints and the distribution of traction), the anatomy and physiology of the integuments, and the systems of digestion, circulation and respiration. There remained only the physiology of the muscles and a general survey of the nervous processes, with a more detailed study of sight and hearing; but my lectures were suddenly stopped by the receipt of the following document which I am reproducing literally:

The
Imperial
Russian Technical Society

Moscow Section

Permanent Committee
for
Technical Education

Moscow, Febr. 9-th, 1904.
№ 523

To the Inspector of the
Prechistenski Courses

In conformance with order No. 184 of the Director of Elementary Schools, dated February 5th, 1904, Professor I. M. Sechenov has not been constituted a teacher of the Prechistenski Courses. Kindly inform me of the cessation of his lessons.

K. Mazing, Chairman.

Thus ended my pedagogical career.

Sechenov spent the last years of his life on writing his Autobiography and preparing the posthumous edition of his works. In the course of this occupation, he conceived new experiments, but death put an end to his designs: pneumonia carried away in $1^1/_2$ weeks this honest man whose life had been devoted to science and the education of others, and who wanted nothing for himself except the right to work. His last will was that there should be no flowers at the funeral and no speeches over his grave. This request was complied with.

K. A. Timiriazev, F. R. S., in his book «*The Awakening of Natural Sciences in Russia in the end of the XIXth Century*» gives the following definition of the rôle played by Sechenov:

«Just as our chemistry was built up by the joint labour of many talented chemists; or our descriptive biology in its modern form can be traced down to Zenkovsky; so does our physiology originate from I. M. Sechenov. This striking personality and brilliant worker is undoubtedly one of the most characteristic figures of his time. No other physiologist (except, of course, Helmholtz who is an exception to everything) possessed such a wide range of scientific achievements in his own personal research, beginning with the purely physical study of the solubility of gases and ending with the analysis of nervous processes and the strictly scientific examination of problems of psychology. In the field of psychology, Sechenov was the same strict logician as in the purely physiological sphere; this brought upon him the displeasure of the psychologists of the old metaphysical turn of mind. Add to this the wonderfully simple and lucid form in which he expressed his thoughts, and you will understand the magnitude of his influence upon Russian science and upon intellectual circles far beyond the limits of his immediate audience. Those who were present at the famous first public lecture on the «Reflexes of the Brain» know that this lecture was an event not only in the Medical Academy, but also in all the scientific Russian world, far beyond the walls of the Academy. Future history will no doubt recognise that no other scientist in Russia has ever had such a wide and happy influence upon Russian science and upon the growth of scientific interests in our Society,—not even Sechenov's friend Mendeleyev, of whose scientific merits Sechenov always spoke with sincere admiration».

I

BEITRÄGE ZUR PNEUMATOLOGIE DES BLUTES[1]

1

In Bezug auf die Frage der Absorption des Sauerstoffs durch das Blut ist schon Manches gethan. L. Meyer in seiner vortrefflichen allgemein bekannten Abhandlung «Ueber die Gase des Blutes» hat den wichtigen Satz aufgestellt, dass diese Erscheinung, weit entfernt dem Dalton'schen Gesetze zu folgen, zwischen gewissen Grenzen fast unabhängig vom Drucke geschieht und nur von der Zusammensetzung des Blutes abhängig ist. Fernet (Du rôle des principaux éléments du sang dans l'absorption ou le dégagement des gaz de la respiration. Ann. des sciences nat. IV. série. Tom 8. 1857) that einen Schritt weiter: er zerlegte das Blut in seine Hauptbestandtheile und bestimmte experimentell den Einfluss, welchen jeder einzelne auf die Absorptionsgrösse des Sauerstoffs ausübt. Wenn man zu dem Gesagten noch hinzufügt, dass beide Gelehrte solche Absorptiometer construirt haben, welche ziemlich genaue Resultate geben[2], so könnte man denken, dass durch die beiden Arbeiten alle Mittel gegeben worden sind, die absoluten Absorptionsgrössen für Sauerstoff im Blute in jedem einzelnen Falle sehr genau bestimmen zu konnen. Dem ist aber nicht so; die zu diesem Zwecke von L. Meyer und Fernet angestellten Versuche sind beiden misslungen.

Der letzte bekam in zwei von ihm veröffentlichten Fällen (a. a. O. S. 208) als absolute Absorptionsgrössen 12,37 und 12,36 Vol. Sauerstoff auf 100 Vol. Blut; dagegen gab ihm die Analyse der aus dem arteriellen Blute gewonnenen Gase von 15,7 bis 20,2 Vol. O auf dieselbe Blutmenge (S. 213). Diesen Unterschied lässt er nicht unbeachtet und macht sonderbarerweise die Bemerkung dazu (S. 213), dass die letzten Zahlen kleiner seien als diejenigen, welche durch das Schütteln des gasfreien Blutes mit Sauerstoff bekommen worden sind. L. Meyer blieb mit seinen Versuchen so unzufrieden (er bekam einmal als Absorptionsgrösse auf 100 Vol. Blut 9 Vol. O, das andere Mal 20 Vol. O), dass er sogar die directe Methode zur Bestimmung der absoluten Absorptionsgrössen verwarf und an deren Stelle das indirecte Verfahren

---

[1] Aus dem 3. Bande der Sitzungsberichte der Wiener Akademie.

[2] L. Meyer hat bekanntlich mit seinem Apparate den Absorptionscoëfficienten für CO_2 im Wasser sehr nahe dem Bunsen'schen gefunden.

des Blutauskochens empfahl (Die Gase d. Bl. Götting. 1857, S. 56). Als Fehlerquellen des directen Verfahrens bezeichnet er das nicht vollständige Auspumpen der Gase aus dem Blute, das Wiedereindringen von Luft in das luftleere Blutgefäss u. s. w. Was die erste Fehlerquelle betrifft, so ist leicht zu bemerken, dass auch das Verfahren des Auskochens damit in eben so hohem, wenn nicht höherem Grade behaftet ist. Die zweite Fehlerquelle ist aber durch Vorsicht immer zu beseitigen, dafür sprechen ja die Resultate seines eigenen Versuches mit der Absorption der Kohlensäure im Wasser. Eine grosse Anzahl von Versuchen mit dem Meyer'schen Absorptiometer, welche ich in dem Laboratorium von Prof. Ludwig anstellte, setzte mich in den Stand, der Ursache der grossen Schwankungen in den Absorptionsgrössen für Sauerstoff im Blute, welche L. Meyer erhielt, auf die Spur zu kommen. Es stellte sich nämlich heraus, dass diese Schwankungen nicht in der Mangelhaftigkeit des Absorptiometers, sondern in dem Blute selbst und hauptsächlich in der Art und Weise, wie dieses von Gasen befreit wird, ihren Grund haben.

Die oben angeführten Abhandlungen von L. Meyer und Fernet enthalten keine bestimmte Antwort darauf, wie lange das Auspumpen der Gase aus dem Blute fortgesetzt werden soll, damit man sicher sei, dass es gasfrei ist. Fernet glaubt bloss dessen sicher zu sein, weil seine Absorptionsversuche so sehr mit einander übereinstimmen. L. Meyer nimmt einmal als Regel an, das Auspumpen eine halbe Stunde nach dem Beginne des grossblasigen Kochens fortzusetzen, das andere Mal pumpt er die Gase noch eine geraume Zeit nach dem Verschwinden der rothen Farbe des Blutes aus. Es ist leicht einzusehen, dass in unserem Falle mit der Angabe über die Zeitdauer des Auskochens noch gar nichts gesagt ist, so lange man die Grösse der kochenden Oberfläche, das Verhältniss zwischen dem Rauminhalte des Vacuums und dem Volumen des Blutes und die Temperatur des letzteren nicht angegeben hat. Das Anzeichen, dass das Blut gasfrei ist, soll vielmehr durch eine Eigenschaft des Blutes selbst gegeben werden, und erst wenn so ein Merkmal gefunden, bekommt die Bestimmung der absoluten Absorptionsgrössen einen Halt. Dieses Merkmal glaube ich gefunden zu haben. Um es aber schärfer hervorzuheben, erlaube ich mir die Erscheinungen, welche das im Vacuum kochende Blut darbietet, etwas weitläufiger, als es bis jetzt geschehen, zu besprechen.

Die Entwickelung der Gase aus dem Blute ist mit dem Schäumen desselben verbunden. Der Schaum ist zuerst feinblasig, die Blasen platzen schwer und entwickeln sich fortwährend. Bei weiterem Auspumpen werden die Blasen allmählich grösser und nicht so zähe, das Blut kocht aber nicht mehr ununterbrochen; das Manometer an der Luftpumpe zeigte manchmal nicht über 5 Millim. Spannung (swischen dem Blutrecipienten und der Luftpumpe befindet sich ein Chlorcalciumrohr) und das Blut stand ruhig. Eine leichte Erschütterung macht dieser Ruhe gewöhnlich ein Ende. Allmählich hört das Schäumen des Blutes auf; dann wird die Flüssigkeit durch die sich entwickelnden Dampfblasen von Zeit zu Zeit in ihrer ganzen Masse emporgehoben, beim Herabfallen zeigt sie aber eine von Schaum ganz freie Oberfläche. Die Kugelröhren, welche zwischen dem Blutrecipienten und dem Chlorcalciumrohre sich befinden, enthalten ebenfalls keinen Schaum

	1. Versuch		2. Versuch		3. Versuch		4. Versuch		5. Versuch		6. Versuch	
	vor der Absorpt.	nach der Absorpt.	vor der Absorpt.	nach der Absorpt.	vor der Absorpt.	nach der Absorpt.	vor der Absorpt.	nach der Absorpt.	vor der Absorpt.	nach der Absorpt.	vor der Absorpt.	nach der Absorpt.
Volumen des Blutes	67,815	67,815	62,918	62,918	73,299	73,299	83,767	83,767	71,131	71,131	67,255	67,255
Beob. Vol. des Gases	142,65	139,46	133,88	129,37	150,67	146,68	124,44	118,54	132,11	128,00	138,93	135,56
Temperatur	15,9° C.	16° C.	11,4° C.	11,8° C.	19,25°C.	19,5° C.	19,75°C.	19,75°C.	18° C.	18° C.	18,6° C.	18,6° C.
Druck in Meter	0,522	0,4865	0,4539	0,4079	0,5192	0,4792	0,4894	9,4249	0,4643	0,4213	0,5163	0,4783
Vol. d. Gases red. auf 0° und 1 M. Dr.	70,369	64,09	58,361	50,585	73,089	65,605	56,805	46,980	57,548	50,593	67,156	60,705
Absorptions-Grösse für O auf 100 Th. Blut	9,295		12,359		10,21		11,49		9,777		9,59	

mehr[1]. Ihre Wände sind alsdann mit einer so dünnen Blutschicht benetzt, dass sie grün gefärbt erscheinen. In einer Schicht von 2—3 Cent. betrachtet, hat aber das Blut zu dieser Zeit noch einen merklichen Stich in's Rothe.

Lange Zeit habe ich die so weit ausgepumpte Flüssigkeit für gasfrei gehalten, dazu glaubte ich durch die Abwesenheit des Schaumes beim Kochen derselben berechtigt zu sein. Die mit solchem Blute angestellten Versuche gaben mir dieselben Absorptionsgrössen für Sauerstoff, wie sie Fernet und auch L. Meyer in seiner ersten Versuchsreihe bekommen hatten. Einige von meinen Versuchen führe ich an. Das Blut war von Hunden und immer aus der Art. carotis genommen; nach dem Schütteln mit Sauerstoff erlangte es die hellrothe arterielle Farbe immer wieder.

Es ist bekannt, dass das Vacuum allein nicht hinreichend ist, um das Blut gasfrei zu machen; die Flüssigkeit muss zugleich wenigstens bis zur Temperatur unseres Körpers erwärmt werden. Ich wusste es und unterliess beim Auspumpen nie, das Blut bei einer Temperatur von 35°—45° C. zu halten. Wusste aber nicht, dass beim Sinken dieser Temperatur das Blut, welches zwar des grösseren Theiles seiner Gase beraubt, doch bei weitem nicht gasfrei ist, die Fähigkeit besitzt, ohne Schäumen zu kochen. Diese Erfahrung machte ich erst später und dadurch hat sich das Nichtschäumen des kochenden Blutes als ein ungenügendes Merkmal für das Vorhandensein der Gase im Blute erwiesen. Ich habe nämlich bemerkt, dass, wenn man das Blut inmitten des Auspumpens zu erwärmen aufhört und weiter auspumpt, so kommt endlich der Zeitpunkt, wo es ohne Schaum kocht; man braucht aber die Flüssigkeit von Neuem zu erwärmen und es fängt wieder an zu schäumen.

Das weitere Auspumpen führte mich endlich zu dem gewünschten Ziele. Ich bekam gasfreies Blut[2] (nur so zu verstehen, dass in dem Blute bloss Spuren von Gas bleiben, welche die Absorptionsgrössen kaum beeinflussen) und zugleich damit eine in die Augen springende Veränderung an demselben. Das Blut nahm, in einer Schicht von 2—3 Cent. betrachtet, eine vollständig schwarze Farbe an. Es muss sogleich bemerkt werden, dass, wenn das Auspumpen nahe an diesem Punkt unterbrochen wird, die schwarze Farbe nichts desto weniger in 5—10 Minuten von selbst eintritt, ohne dass dabei eine sichtbare Gasentwickelung stattfände. In den gleich mitzutheilenden Versuchen mit dem bis zu diesem Grade ausgepumpten Blute war dasselbe wie früher aus der Carotis genommen (Siehe Tab. auf S. 7).

Von den Absorptionsgrössen dieser Tabelle ist die erste der von L. Meyer in seiner 2. Versuchsreihe erhaltenen (die Gase des Blutes S. 55) ziemlich gleich, die drei anderen übertreffen sie beträchtlich. Die erste, obgleich geringer als die übrigen, übertrifft jedoch die von Fernet, L. Meyer und mir gefundenen Maximalwerthe für O im normalen arteriellen Blute (von 12—15 Vol. %). Es wird also Niemand zweifeln, dass die Zahlen meiner 2. Tabelle den wahren Absorptionsgrössen viel näher als die der ersten stehen.

Ich wage aber nicht zu behaupten, dass sie in der That wahre Absorptions-

[1] Ich erwähne dieses Umstandes deswegen, weil, wie wir später sehen werden, die Anwesenheit von Schaum in diesen Röhren nach Beendigung des Auspumpens in die Absorptionsversuche einen Fehler einführt, der nicht berechnet werden kann.

[2] Den Beweis dafür siehe pag. 118.

	1. Versuch		2. Versuch		3. Versuch		4. Versuch	
	vor der Absorption	nach der Absorption	vor der Absorption	nach der Absorption	vor der Absorption	nach der Absorption	vor der Absorption	nach der Absorption
Volumen d. Blutes	76,021	76,021	71,27	71,27	69,564	69,594	67,73	67,73
Beobacht. Volumen des Gases	152,17	145,57	149,57	141,35	146,43	137,18	153,00	140,42
Temperatur	17,5° C.	17,5° C.	16,6° C.	16,8° C.	18,2° C°	18,3° C.	16,1° C.	16,2° C.
Druck	0,6024	0,5359	0,4834	0,4069	0,5044	0,4315	0,4936	0,4397
Volumen d. Gases reducirt auf 0° u. 1 Met. Druck	86,149	73,315	68,161	54,197	69,246	55,476	71,322	58,291
Absorptionsgrösse für O auf 100 Th. Blut	16,882		19,594		19,794		19,241	

grössen ausdrücken, weil in keinem Versuche der zweiten Tabelle das Blut nach dem Schütteln mit Sauerstoff die dem arteriellen Blute eigene hellrothe Farbe wieder erlangte, sondern dunkelroth blieb. Worin diese merkwürdige Thatsache ihren Grund hat, bleibt zu erforschen. Jetzt lässt sich darüber nur so viel sagen, dass sie nicht etwa durch das ungenügende Schütteln des Blutes mit Sauerstoff bedingt war; denn bei den Versuchen der 1. Tabelle, wo das Schütteln auf dieselbe Weise geschah, kam die Thatsache doch nie zum Vorschein. Ausserdem habe ich zwei Mal das Blutgefäss nach beendeter Sauerstoffabsorption von dem Manometer getrennt und mit atmosphärischer Luft möglichst stark geschüttelt,—die hellrothe Farbe blieb immer aus. Keinenfalls scheint diese Erscheinung von dem Wasserverluste abzuhängen, welchen das Blut beim Auspumpen der Gase erleidet; denn einmal habe ich diesen Verlust vor der Absorption compensirt, das Blut blieb nichtsdestoweniger nach dem Schütteln mit Sauerstoff dunkelroth.

Es sei dem aber wie ihm wolle, die Absorptionsversuche können nur mit dem Blute, welches bis zur vollständig schwarzen Farbe ausgepumpt war, angestellt werden, denn nur bei dieser Bedingung hat man die Gewissheit, mit einer gasfreien Flüssigkeit zu experimentiren. Dazu muss aber das Kochen des Blutes verhältnissmässig sehr lange fortgesetzt werden, und dieser Umstand führt in die Absorptionsversuch mit dieser Flüssigkeit eine neue Fehlerquelle ein. Ich wende mich jetzt zur Erläuterung derselben.

Beim Auspumpen der Gase verliert das Blut nothwendig einen Theil seines Wassers. Ausserdem bleibt nach Beeendigung dieser Operation ein Theil des Blutes in den zur Vergrösserung des Vacuums dienenden Kugelröhren zurück. Diese beiden Uebelstände sind der Aufmerksamkeit von L. Meyer natürlich nicht entgangen; er erwähnt ihrer, bestimmt aber die Grössen derselben nicht (l. c. S. 23), weil bei ihm immer eine ziemliche Quantität Blut als Schaum in den Kugelröhren zurückbleibt. Bei mir

ist glücklicher Weise diese letztere Quantität so unbedeutend, dass sie kaum die Grenzen der Ablesungsfehler in einem so weiten Rohre, wie das blutführende ist, überschreitet und folglich vernachlässigt werden kann[1]. Dadurch war ich im Stande, den Wasserverlust zu bestimmen. Das kann auf zwei verschiedene Weisen gemacht werden:

1. Man liest das Volumen des Blutes vor und nach dem Auspumpen ab; die Differenz zwischen beiden ist dem Volumen des verloren gegangenen Wassers gleich.

2. Man schiebt zwischen den Blutrecipienten und die Luftpumpe ein gewogenes Chlorcalciumrohr ein, welches nach dem Auspumpen wieder gewogen wird; die Differenz zwischen beiden Gewichten giebt den Wasserverlust an.

Obwohl das letztere Verfahren das genauere ist, so habe ich doch das erstere seiner grossen Einfachheit wegen bei einer für meine Zwecke genügenden Genauigkeit vorgezogen.

Es ist leicht einzusehen, dass die Grösse des Wasserverlustes sehr variabel ist, wenn man auch stets mit fast denselben Blutmengen und denselben Apparaten arbeitet, wo also die Verhältnisse zwischen dem Blutvolumen und dem Rauminhalte des Vacuums fast dieselben bleiben. In meinen Versuchen habe ich als Extreme die Grösse des Wasserverlustes $^1/_{25}$ und $^1/_{15}$ des angewandten Blutvolumens gefunden. Die Vernachlässigung solcher Wasserverluste führt nothwendig einen Fehler in die Zahlen für die absoluten Absorptionsgrössen ein. Wie gross übrigens diese Fehler sein können, mag folgender Absorptionsversuch mit Sauerstoff im Blute zeigen. Der Wasserverlust hat hier einen Maximalwerth.

	Vor d. Ausp.	Nach d. Ausp.			
Vol. d. Blut. . .	67,73	63,64	Wasserverl. = 4,09		
	Anf. Vol. d. Gas.	Temp.	Dr.	Red. Vol. d. Gas.	
Vor d. Absorpt.	153,00	16,1° C.	0,4936	71,322	Vol.-Abnahme
Nach d. Absorpt. . . .	140,42	16,2° C.	0,4397	58,291	d. Gas. = 13,031

Die wegen der Absorption entstandene Volumenabnahme des Gases kann bezogen werden:

1. Auf das Volumen des Blutes nach dem Auspumpen, wie es L. Meyer macht;

2. auf das Volumen des Blutes vor dem Auspumpen ohne Berücksichtigung des Wasserverlustes und

3. mit Berücksichtigung desselben.

Im ersten Falle vernachlässigt man die aus dem Wasserverluste entstehende grössere Concentration des Blutes, wodurch die auf 100 Theile desselben berechneten Absorptionsgrössen höher als die wahren ausfallen. In unserem Beispiele ist die so berechnete Absorptionsgrösse für Sauerstoff =20,476.

Im zweiten Falle würde sie=19,241 sein. Es ist klar, dass die letzte

[1] So lange man das Schäumen des kochenden Blutes nicht zu verhindern weiss ist die vollständige Beseitigung des Blutverlustes beim Auspumpen der Gase aus dieser Flüssigkeit unmöglich.

kleiner als die wahre ist, nämlich um die Menge Sauerstoff, welche von dem verloren gegangenen Wasser bei 16,2° C. und 0,4397 Millim. Dr. absorbirt werden würde, dividirt durch das Verhältniss des angewandten Blutvolumens zu 100. Die Sauerstoffmenge, welche das verloren gegangene Wasser absorbirt hätte, ist leicht zu berechnen (Bunsen's Gasometr. Method. S. 137, Formel 2); sie ist in unserem Beispiele=0,034. Dieses Gasvolumen gilt für 0° C. und 760 Millim. Dr. Auf 1 Met. Dr. berechnet (alle Gasvolumina sind in unserem Versuche darauf reducirt) ist es=0,026. Diese Grösse zu der beobachteten Volumenabnahme des Sauerstoffs hinzuaddirt, giebt die Zahl 13,057, woraus die Absorptionsgrösse auf 100 Theile Blut berechnet=19,278, hervorgeht.

Es ist kaum nöthig zu sagen, dass die letzte Zahl der wahren Absorptionsgrösse viel näher als die zwei ersten; sie unterscheidet sich davon nur um die Sauerstoffmenge, welche das verloren gegangene Blut absorbirt hätte, folglich müssen bei den Absorptionsversuchen die nach der Absorption beobachteten Volumenabnahmen der Gase immer auf das Volumen des Blutes vor dem Auspumpen und mit Berücksichtigung des Wasserverlustes bezogen werden. Die letzte Correction darf nur bei den zum Vergleichen anzustellenden Versuchen und wo zugleich das Gas einen sehr niedrigen Absorptions-Coefficienten für Wasser besitzt (wie Stickstoff z. B.), vernachlässigt werden. Dagegen ist das directe Beziehen der nach der Absorption beobachteten Volumenabnahme des Gases auf das nach dem Auspumpen zurückbleibende Volumen des Blutes in jedem Falle zu verwerfen.

Mit Beziehung auf die Methode erlaube ich mir schliesslich noch Folgendes. In allen angeführten, so wie in den gleich zu besprechenden Absorptions-Versuchen wurde die Klemme, welche das Blutgefäss von dem Manometer trennt, gleich nach dem Einführen des Gases in den Apparat geöffnet, darauf das Volumen des Gases abgelesen. Folglich sind alle meine Versuche frei von dem Fehler, welchen L. Meyer in seiner «Dissert. de sanguine oxyd. carb. inf., Vratisl. MDCCCLIII., p. 4» angegeben hat.

Die Ablesung des Quecksilberstandes in dem Absorptiometer, so wie in den Absorptionsröhren, geschah unter Wasser von constanter Temperatur und zwar in dem Behälter, dessen Beschreibung man in W. Müller's Beitr. zur Respiration findet. Berichte d. Wiener Akad. d. Wissensch. XXXIII. Bd., Jahrg. 1858.

Jetzt führe ich meine Absorptionsversuche mit Stickstoff im Blute an. Das Gas wurde aus der von Kohlensäure und Ammoniak befreiten atmosphärischen Luft durch Leitung derselben über glühende Kupferspäne dargestellt. Bei Prüfung des Gases auf seine Reinheit diente mir als Reagens für Sauerstoff pyrogallussaures Kali, dessen unmittelbare Bestandtheile getrennt von einander in das Absorptionsrohr eingeführt worden waren. Dabei trat weder eine Contraction des Gasvolumens noch eine Veränderung in der Farbe der eingeführten Lösung ein. Auch das Blut blieb nach dem Schütteln mit dem Gase vollständig schwarz (Siehe Tab. auf S. 10).

Die Schwierigkeiten, mit denen man bei diesen Versuchen zu kämpfen hat, sind gross genug, um die angeführte geringe Zahl derselben zu rechtfertigen. Auch stecken hinter diesen wenigen viele andere, die misslungen sind. Die gelungenen glaubte ich aber schon desshalb anführen zu müssen,

1. Versuch

	Vol. d. Blut.	Beob. V. d. Gas.	Temp.	Dr.	Red. V. d. Gas.	
Vor d. Absorption	77,069	147,45	16,6° C.	0,4449	61,844	100 Th. Blut haben abs. 2,778 Th. N.
Nach d. »	77,069	146,36	16,8° C.	0,433	59,703	

2. Versuch

Vor d. Absorption	65,748	161,46	18,4° C.	0,5353	80,975	100 Th. Blut haben 4,71 Th. N. bei schwächerem und 5,145 bei stärkerem Druck absorbirt.
Nach d. » .	65,748	159,914	18,5° C.	0,52	77,878	
Druck verstärkt .	65,748	136,157	18,5° C.	0,6085	77,592	

weil bis jetzt so gut wie gar keine Absorptionsversuche mit Stickstoff im Blute existiren. Uebrigens erlaube ich mir aus diesen zwei Versuchen nur einen einzigen Schluss, dass nämlich die Absorptionsgrössen des Stickstoffes für das Blut beträchtlicher als für das Wasser sind. Dieses würde ich schon aus der Arbeit von Magnus abgeleitet haben, der im arteriellen Blute von Pferden 2—3 Vol. % N fand, wenn ich nicht die entsprechenden Grössen im arteriellen Blute von Hunden viel geringer (1,2—1,3 Vol. %, siehe später) gefunden hätte. Aber auch meine Zahlen aus frischem Hundeblut widersprechen dem Gesagten nicht, wenn man berücksichtigt, dass dieselben für eine Flüssigkeit von 35°—40° C. gelten, und dass diese Flüssigkeit in der Lunge mit einem Gasgemenge, wo der partielle Druck des Stickstoffs gewiss nicht $^3/_4$ des mittleren Barometerstandes übertrifft, in Berührung war. Der gemachte Schluss nun, im Verein mit der von Fernet gefundenen Thatsache, dass das Serum in Bezug auf die Stickstoffabsorption sich wie das Wasser verhält, macht es höchst wahrscheinlich, dass bei diesem Processe im Blute sich auch die Blutzellen an demselben betheiligen.

2.

Dem Wunsche des Herrn Prof. Ludwig folgend, unternahm ich die Bestimmung der Gase im Blute des erstickten Thieres. Die erste Aufgabe dabei war die Vervollkommnung des Verfahrens, die Gase aus dem Blute zu gewinnen. Von den dafür existirenden Methoden ist die durch L. Meyer ein wenig modificirte Baumert'sche unstreitig die beste, weil sie das Erwärmen des im Vacuum kochenden Blutes zulässt, und somit beide zum Austreiben der Gase aus dem Blute nöthigen Bedingungen erfüllt. Dieses Verfahren, so schön und so einfach für das Sammeln der im Wasser aufgelösten Gase, ist indessen in seiner Uebertragung auf das Blut mangelhaft.

1. Wer die Gase aus dem Blute auszupumpen Gelegenheit hatte, weiss aus Erfahrung, dass, wenn das Blutvolumen und der Rauminhalt des Vacuums beinahe gleich sind, das letzte vielleicht 20 Mal erneuert werden muss, um gasfreies Blut zu bekommen, vorausgesetzt, dass die Flüssigkeit bei einer Temperatur von 35°—45° C. gehalten wird. Beim Gewinnen der im Wasser aufgelösten Gase durch Kochen braucht bekanntlich der Rauminhalt des Vacuums nicht einmal so gross wie das Volumen der Flüssigkeit zu sein.

Der Grund, warum das beim Wasser anwendbare Verfahren hier im Stich lässt, kann gesucht werden in verschiedenen Umständen. Zuerst kann man das Wasser auf 100 Grad erhitzen, das Blut aber kann unter keinen Umständen über 60 Grad erwärmt werden; ist doch schon dieser Wärmegrad bedenklich genug. Ferner gerathen wahrscheinlich bei jener Temperatur und bei einem nicht sehr niedrigen Gasdruck die in den Blutkörperchen enthaltenen Flüssigkeiten nicht in's Kochen. Endlich, und das scheint namentlich auf die Ausscheidung der CO_2 zu wirken, zieht das alkalisch reagirende Blut aus einer Atmosphäre von sehr niedrigem Druck noch CO_2 an. Der Einfluss der alkalischen Reaction ist vorzugsweise daraus zu erkennen, dass nach Neutralisation des Blutes durch Weinsäure die CO_2 auch im beschränkten Raume ausgekocht werden kann. Da nun in dem Apparat von Lothar Meyer der Rauminhalt des Vacuums kleiner als das Volumen der Flüssigkeit war, so konnte dieser Umstand nicht ohne Einfluss auf die Resultate der Versuche bleiben. Die Beseitigung dieses Mangels mit Beibehaltung des Flüssigkeitsvolumens würde dem Apparate so riesige Dimensionen geben, dass er schwer zu handhaben wäre. Das Nichtverdünnen des Blutes mit Wasser (also die Verminderung des Flüssigkeitsvolumens) mit Beibehaltung aller übrigen Dimensionen des Apparates würde einen anderen Uebelstand, nämlich das Eindringen des Blutes in Form von Schaum in den Gasrecipienten, zur Folge haben.

2. In einem stark mit Wasser verdünnten Blute hat man gar kein Kriterium zur Beurtheilung, ob es gasfrei geworden ist, somit ist die Zeit der Unterbrechung des Auskochens mehr oder weniger der Willkühr überlassen.

Diese Hauptübelstände bestimmten mich nach einigen mit dieser Methode angestellten Versuchen, dieselbe zu verlassen. Ich schlug Herrn Professor Ludwig das Toricelli'sche Vacuum als Princip des Apparates vor, da dieses sehr leicht zum Verschwinden gebracht und erneuert werden kann. Der folgende nach diesem Principe construirte Apparat ist in allen seinen Details nach der Angabe von Professor Ludwig verfertigt.

Es ist Fig. 1 ein U-formiges Rohr, $A\ A_1\ E\ B\ B_1 B_2$, dessen Krümmung EE aus Gusseisen, dessen verticale Schenkel aus einzelnen mit Kautschuk unter einander verbundenen Glasröhren bestehen. Die unteren Glasstücke der beiden Schenkel sind in die eisernen Fassungen M und M_1 luftdicht eingekittet; diese sind vermittelst der in ihnen befindlichen Mutterschrauben an das krumme Rohr EE angeschraubt. Der Schenkel AA_1 besteht aus zwei Glasstücken, das freie Ende A des oberen ist mit einem Kautschukrohr versehen, welches mit einer Meyer'schen Klemme[1] geschlossen werden kann. Dieser Schenkel dient theilweise zum Füllen des Apparates mit Quecksilber, hauptsächlich aber zum Comprimiren der aus dem Blute gewonnenen Gase vor ihrer Einführung in den Gasrecipienten. Der letzte ist durch das Glasrohr B_2 repräsentirt; es ist nichts weiter als ein in Millimeter getheiltes und kalibrirtes Absorptionsrohr, wie es bei der Gasanalyse gebraucht wird. Das mittlere (B_1) und untere (B) Glasstück des Schenkels BB_2 umgrenzen

[1] Alle Klemmen, von denen bei der Beschreibung dieses Apparates die Rede sein wird. sind ohne Ausnahme die Meyer'schen.

das Vacuum das Apparates; beide sind mit offenen Querröhren C und D versehen. D ist beinahe in der Mitte der Längsdimension des Rohres B_1 angebracht, trägt an seinem freien Ende ein Kautschukrohr, welches durch die Klemme e geschlossen werden kann, und dient unter gewissen Umständen zum Füllen des Apparates mit Quecksilber. Der Querfortsatz C nimmt das Kautschukrohr auf, welches den Blutrecipienten F mit dem Apparate in Verbindung bringt.—Das krumme eiserne Rohr EE hat in der Mitte des Bogens ein Abzugsrohr G aus demselben Metall; seine unmittelbare Fortsetzung (Fig. 2) stellt das Glasrohr K dar. Das letzte hat an seinem unteren Rande ein Kautschukrohr mit der Klemme c. Die Länge des Abzugsrohres ist so gross genommen, dass ihre verticale Projection ungefähr der Höhe des mittleren Barometerstandes gleich ist.

Wenn man sich nun die beiden Oeffnungen des Schenkels B B_2, so wie die Klemmen b und c geschlossen und den Apparat von der Klemme b bis zum Gipfel des Gasrecipienten, so wie das ganze Abzugsrohr mit Quecksilber gefüllt denkt, so bildet das Röhrensystem von B_2 bis c eine ununterbrochene Quecksilbersäule, deren Höhe die dem mittleren Barometerstand entsprechende weit übertrifft. Man braucht also nur das untere Ende des Abzugsrohres K in Quecksilber einzutauchen und die Klemme c zu öffnen, so entsteht sogleich in dem Schenkel B B_2 ein Vacuum, dessen untere Grenze bis unterhalb des Querrohres C gelegt werden kann.

Die bis dahin geschilderten Röhren werden von einem starken Gestell aus Eisen getragen; dieses letztere ruht in einem eisernen Lager, das mit einem starken Tisch unverrücklich verschraubt ist. Das Gestell mit den Röhren kann in dem Lager um mehr als 250 Grad gedreht und in jeder beliebigen Stellung, gehörige Unterstützung vorausgesetzt, niedergelegt werden. In der senkrechten Lage kann es durch eine eigene Vorrichtung festgehalten werden. Die einzelnen Stücke dieser letzteren sind im Folgenden beschrieben.

Das Gestell besteht aus einer viereckigen Platte P von starkem Eisen; sie ist zweimal durchbohrt, für die Enden des gebogenen Eisenstückes EE der U-förmigen Röhre. Sind die Muttern MM_1 die am Ende der senkrechten Schenkel der letzten Röhre angebracht sind, fest angezogen gegen die Schraubenspindeln an den Enden des gebogenen Rohres EE, so ist der eiserne Theil des U-förmigen Rohres in der Platte festgestellt. Von den vier Ecken der oberen Plattenfläche gehen vier starke Stangen von Schmiedeeisen aus, je zwei je einem senkrechten Schenkel des U-förmigen Rohres gegenüber. Die zwei derselben, welche an der Seite des Blutgefässes aufsteigen, sind bei SS ausgebogen, entsprechend der Länge des Querrohres C; ohne dies würde das Rohrstück B nicht angeschraubt werden können, weil das Querrohr C an die Eisenstangen anstiesse. Eine der eisernen Stangen, auf derselben Seite, ist länger als die übrigen, entsprechend dem Massrohr B_2. Die Stangen sind da, wo die drei kürzeren enden, mit einem langen und zwei kurzen Querstäben versehen, um die Beweglichkeit zu mindern. An passenden Orten sind acht, auf und ab verschiebbare Halter angebracht; die beiden Backen ihrer Griffe sind mit Leder und Kork gefüttert; die Halter sichern die Lage der Glasröhren in jeder, vorzüglich aber in der horizontalen Stellung des Apparates; ihr Bau u. s. w. ist selbstverständlich.

Das Lager, in welchem sich das Gestell dreht, besteht aus zwei gegos-

senen eisernen Ständern *QQ*, Fig. 2. Jeder derselben ist durch zwei den Tisch durchbohrende eiserne Schraubenspindeln, die durch die Tischplatte und in Muttern laufen, angeschraubt. Am freien Ende trägt jeder Ständer einen breiten Ring; in diesen Ring passen genau zwei starke cylindrische Zapfen ZZ, die aus der Eisenplatte *P* des Gestelles hervorgehen. Vor der Befestigung der Ständer an den Tisch müssen die Zapfen erst in ihre Lager gebracht werden. Ist dieses geschehen und sind dann die Ständer angeschraubt, so bewegt sich das Gestell mit vollkommener Sicherheit.

Um das Gestell in der aufrechten Lage zu erhalten, dient das in den Tisch geschraubte rechtwinkelige Eisenstück *R* (Fig. 2). Der horizontale Arm des rechtwinkeligen Stückes kann mit der Schraube *T* an den Tisch befestigt und nach Loslassung derselben um *T* bewegt werden. Der aufsteigende Schenkel von *R* trägt einen Schlitz, in diesen passt der geköpfte Zapfen *V*, welcher aus dem herabhängenden Backen der Verdickung des Rohres *E* hervorgeht. Auch dieser Zapfen kann in den Backen mehr oder weniger tief eingeschraubt werden. Die aufrechte Stellung ist also gesichert, wenn der Zapfen *V* in den Schlitz R_1 passt und wenn die Schrauben an *V* und *T* scharf angezogen sind.—Fig. 1 giebt den Apparat in stehender, Fig. 2 in liegender Stellung. Es drehen sich, wie man sieht, das Gestell und die zugehörigen Röhren so in dem Lager, dass die Querröhren *C* und *D* senkrecht gegen die Drehungsaxe gerichtet sind; hierdurch wird es möglich, sie zu den am tiefsten und am höchsten stehenden Stücken des Apparates zu machen.

Der Blutrecipient *F*, Fig. 1, hat dieselbe Form wie das Blutgefäss von L. Meyer in seinen Absorptionsversuchen, nur ist hier der Hals rechtwinkelig gebogen. Der Hals ist in Millimeter getheilt und der Rauminhalt des Gefässes bis zu jedem Teilstriche bekannt.

Die absoluten und relativen Dimensionen des Apparates sind durch folgende Momente bestimmt. Der Rauminhalt des Blutrecipienten ist etwas über 100 K. Centim. genommen, der Rauminhalt der Röhren *B* und B_1 ist 4—5 Mal so gross. Der Gasrecipient, ohne die für die Absorptionsröhre gewöhnliche Weite zu überschreiten, umfasst circa 55 K. Centim. Das Rohrstück A_1 ist kürzer als *B*, sein ausgezogener Theil liegt um ein Paar Zentimeter höher als der Querfortsatz *C* über der Platte *P*; der Grund hiervon wird später klar. Die Länge des Rohres *A* ist durch die Bedingung gegeben, dass die Höhe des Schenkels $A\,A_1$ wenigstens der gesammten Höhe der Röhren $B\,B_1$ gleich sein soll, denn nur unter dieser Bedingung können die aus dem Blute gewonnenen Gase vor ihrer Einführung in den Gasrecipienten bis zu der dem vorhandenen Barometerstande gleichen Spannung zusammengepresst werden. Was nun die Weite der Glasröhren betrifft, so ist es vortheilhaft, dieselbe für die Stücke *B* und B_1 möglichst gross zu nehmen, damit die Quecksilbersäule $B_2\,C$ nicht allzu hoch wird. Die Röhren $A\,A_1$ sollen ebenso weit oder nur wenig enger als die Stücke $B\,B_1$ sein, um die Compression des Gases möglichst schnell zu bewerkstelligen. Die ausgezogenen Enden der Glasstücke, worauf die verbindenden Kautschukröhren angebunden werden, sind 4—5 Centim. lang. Alle Glasröhren haben eine Wandstärke von mindestens 2 Millimeter und die weiteren Kautschukröhren von mindestens 5 Millimeter. Die letzteren müssen wenigstens

sieben Stunden in geschmolzenem Talg bei der Temperatur von 100 Grad C. gehalten werden. Dadurch verlieren sie etwas an Elasticität, schliessen aber dafür vollkommen luftdicht. Zur Erreichung desselben Zweckes in dem zusammengestellten Apparate müssen die toten Schraubengänge der Fassungen M M_1 von aussen zugekittet werden. Ich habe dazu eine geschmolzene Mischung aus gleichen Gewichtstheilen von Wachs und Kolophonium gebraucht; die Masse eignet sich für solche Zwecke sehr gut. Alle Kautschukröhren müssen vor dem Gebrauch des Apparates durch eine vielfach umgeschlungene und gebundene Schnur auf dem Glas befestigt werden.

Jetzt will ich den ganzen Gang eines Versuches mit dem Blute des erstickten Thieres darstellen. Diese Beschreibung wird fur alle übrigen und auch für die Versuche mit dem normalen Blute gelten, wenn man diejenigen Operationen weglässt, welche die Erstickung des Thieres bezwecken.

Nach Blosslegung der Art. carotis und Einführung der Canüle zwischen die doppelte Unterbindung wird dem Hunde die Tracheotomie gemacht und in die Wunde eine Glascanüle eingebunden, welche an ihrem freien Ende ein Kautschukrohr mit einer Klemme trägt. Das Zuschliessen der letzten bewirkt die Erstickung. Das Blut (in allen Versuchen aus der Art. carotis) wird über *Hg* aufgefangen, wozu der mit dieser Flüssigkeit gefüllte und mit dem verbindenden Kautschukrohr versehene Blutrecipient F in eine Quecksilberwanne umgestürzt wird. Die zur Leitung des Blutes aus der Art. carotis nach dem Blutrecipienten dienende Canüle besteht aus zwei Stücken, welche mit einander durch ein Kautschukröhrchen verbunden sind. Das Zusammenpressen mit den Fingern und das Nachlassen dieses Kautschuks regulirt alle Momente des Blutsammelns. Die letzte Operation beginnt immer in dem Augenblicke, wo die Cornea des erstickten Thieres unempfindlich geworden ist und wird unterbrochen, wenn das Blut den getheilten Hals des Recipienten erreicht hat. Man schliesst dann das Gefäss dicht oberhalb seines Halses durch die Klemme d zu und liest den Stand des Blutes ab. Da es bei noch so vorsichtigem Auffangen über *Hg* rasch gerinnt, so defibrinirt man dasselbe durch Schütteln des Blutrecipienten. Das in dem letzteren zurückbleibende Quecksilber verhält sich auf die bekannte Weise.

Nach Abscheidung des Faserstoffes verbindet man den Blutrecipienten mit dem Querrohre C. Hiebei steht das Gestell vertical, und alle Kautschukgelenke, mit Ausnahme des durch die Klemme c verschliessbaren, sind offen. Man giesst in den Apparat durch den Schenkel A A_1 so viel Quecksilber ein, bis dieses im Rohre B_1 erscheint. Dann sucht man die Luftblasen aus dem Abzugsrohre K durch Schütteln desselben zu entfernen, schliesst die Klemmen a b g zu und legt den Apparat auf den Tisch um. Auf diese Weise kann keine Luft mehr in den unteren Theil des Apparates a c g eindringen, auch kein Quecksilber aus dem Rohre A herausfliessen. Durch den offenen Querfortsatz D wird der übrige Theil des Schenkels B B_2 mit Quecksilber gefüllt, darauf die Klemme e zugemacht und der Apparat wieder vertical gestellt. Jetzt beginnt die Prüfung auf das luftdichte Schliessen jedes einzelnen Kautschukgelenkes des Schenkels B B_2. Zu diesem Zwecke öffnet man die Klemme c unter dem Quecksilber und schliesst sie wieder, wenn das Niveau

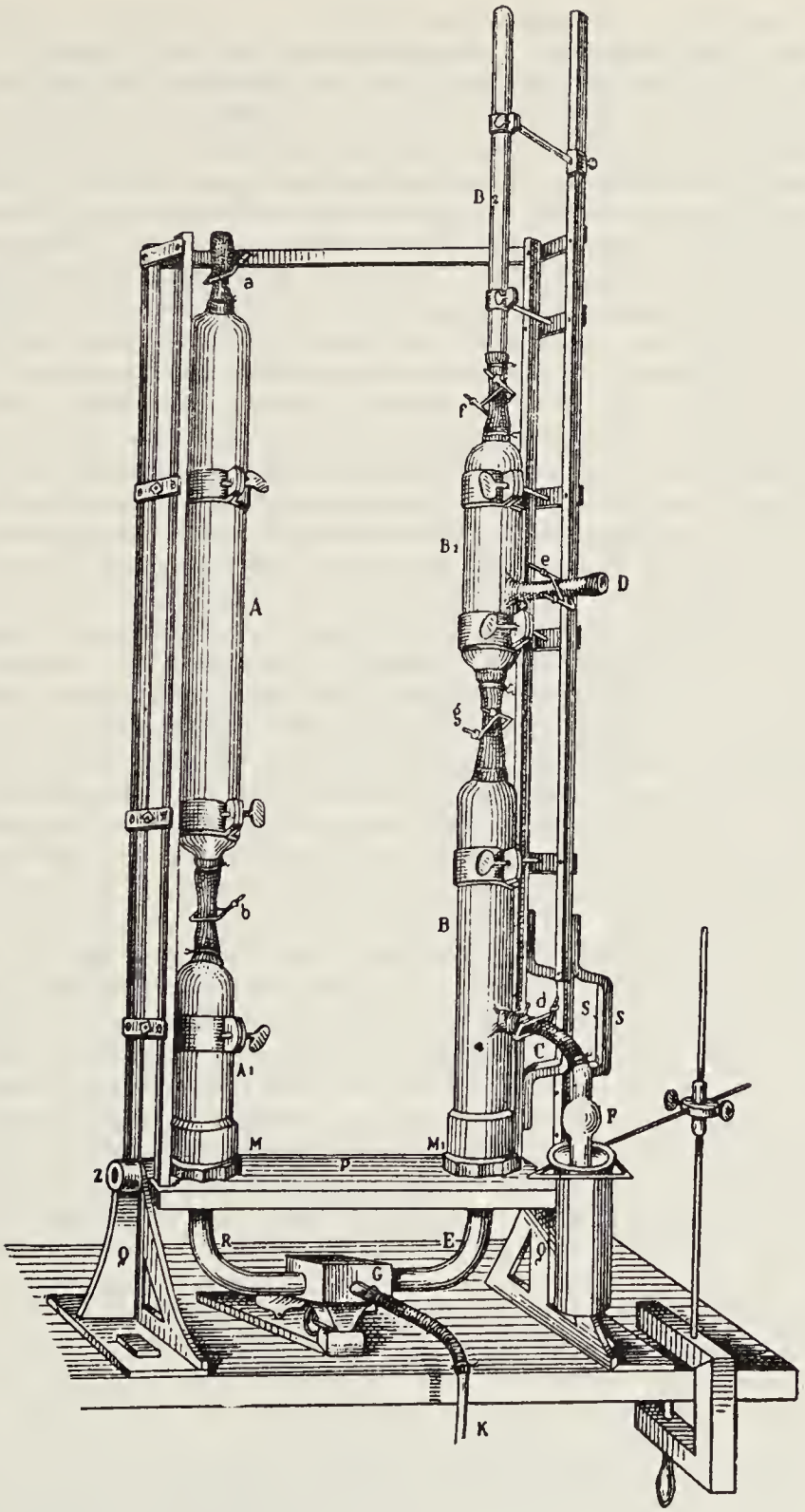


Fig 1.

der herabsteigenden Flüssigkeit die Höhe des zu prüfenden Gelenkes erreicht hat. Man beobachtet jedesmal einige Minuten, ob keine Luftblasen in dem Quecksilber aus der Umgegend des Gelenkes hinaufsteigen. Wenn auf diese Weise das Quecksilberniveau bis unterhalb des Querfortsatzes *C* herabgestiegen ist, so hat sich zugleich das Vacuum in dem Rohre gebildet. Hier hat man folglich ausser den aufsteigenden Blasen noch in dem Verhalten der Quecksilberniveaux ein Merkmal für das Schliessen oder Nichtschliessen des Apparates. Das ist der Grund, warum das Rohr *A* länger als der Abstand des Querfortsatzes *C* von der Platte *P* sein soll. Wenn der Apparat die Probe überstanden hat, wird er wieder mit Quecksilber gefüllt, was durch das geöffnete obere Ende des Schenkels *A* A_1 geschieht. Zugleich mit dem Eingiessen der Flüssigkeit in das Rohr *A* wird die Klemme *b* nur so weit geöffnet, dass das Quecksilber in Form eines dünnen Strahles in A_1 einfliesst. Die Klemme *b* regulirt die Stärke dieses Strahles und somit das Aufsteigen des Quecksilbers in dem Schenkel *B* B_2 auf das Vollständigste. Hat dieses Aufsteigen aufgehört, so wird der Apparat mit der früher erwähnten Vorsicht umgelegt, um die Luftblasen aus dem Gasrecipienten durch den Querfortsatz *D* zu entfernen. Darauf schliesst man die Klemme *f* und *e* zu, öffnet dagegen *g*, bringt den Apparat in die verticale Lage, bildet das Vacuum bis unterhalb des Querfortsatzes *C*, erwärmt nach Angabe von Fig. 1 den Blutrecipienten und macht die Klemme *d* auf; das Blut fängt gewaltig an zu kochen—der Schaum füllt anfangs den ganzen Raum des Vacuums. Bei so einem starken Kochen tritt natürlich der grösste Theil des Blutes aus seinem Recipienten in das Rohr *B* über, ausserdem wird durch die sich entwickelnden Gase das Quecksilberniveau in diesem Rohre niedergedrückt, so dass das Blut in dem unteren Glasstücke des Schenkels *B* B_2 bleibt und nicht mehr erwärmt werden kann. Hier leistet die Klemme *b* sehr wesentliche Dienste, insofern man durch Oeffnen und Schliessen derselben das Aufsteigen des Quecksilbers im Rohre *B* vollkommen in seiner Gewalt hat. Man braucht bloss das Niveau der Flüssigkeit bis zum unteren Rande des Querrohres *C* aufsteigen zu lassen und den Blutrecipienten aus dem warmen Wasser herauszunehmen, so kehrt das Blut in sein Gefass zurück. Man lernt bald diese Manipulationen so zu machen, dass der mittlere Theil der Quecksilberkuppe im Rohre *B* immer frei vom Blute dasteht. Diese Operation muss nothwendig jedes Mal vor dem Sammeln der gewonnenen Gase vorgenommen werden, damit kein Blut in den Gasrecipienten mit eindringt. Diesem ersten Acte des Sammelns folgt das Zuschliessen des Blutrecipienten, darauf das Comprimiren der gewonnenen Gase. Das letzte geschieht ganz ebenso wie das Füllen des Apparates mit Quecksilber, nachdem er die Probe auf das luftdichte Schliessen überstanden hat, mit dem einzigen Unterschiede, dass hier der Apparat so lange mit Quecksilber gefüllt wird, bis die Spiegel dieser Flüssigkeit in beiden Schenkeln (bei offener Klemme *b*) fast auf derselben Höhe stehen. Dann löst man die Klemme *f* auf und führt vorsichtig den grössten Theil der Gase in die Messröhre über. Die Klemme *f* wird nun wieder zugemacht, man bildet wieder das Vacuum und lässt das Blut wieder kochen. Die aufgezählten Operationen wiederholen sich in derselben Reihenfolge so lange, bis man keine Gase mehr aus dem Blute bekommt. Dieser Zustand charakterisirt sich im Blute dadurch, dass es eine vollkom-

men schwarze Farbe annimmt[1]. Hierin sehe ich den besten Beweis für das in dieser Beziehung bei der Besprechung der Absorptionsmethode Gesagte. Im Falle, dass beim letzten Sammeln der Gase nicht die ganze Masse derselben in den Gasrecipienten überführt worden ist, verrathen sich die in dem Rohre B_1 zurückgebliebenen Luftbläschen dadurch, dass sie in dem umgelegten Apparate aus dem oberen Ende des Rohres zum Querfortsatze D hinaufsteigen. Man fängt sie dann in ein Glasrohr, welches mit einem seiner Enden in das Kautschukrohr des Querfortsatzes D eingebunden wird, an dem anderen aber selbst ein Kautschukrohr mit einer Klemme darauf besitzt. Man füllt dieses Röhrchen ohne Luftblasen mit Quecksilber an, macht seine Klemme zu, dagegen die Klemme e auf.

Wir gehen jetzt zu dem Auskochen der chemisch gebundenen Kohlensäure über. Zu diesem Zwecke muss ein neuer Gasrecipient und ein neues Rohr B_1 genommen werden, weil nach Abnahme des Gasrecipienten in das mittlere mit dünner Blutschicht benetzte Glasstück nothwendig Luft eindringt, was in die Resultate des Auskochens einen Fehler einbringen würde. Ich bin deswegen folgendermassen verfahren: sind die letzten Spuren von im Blute aufgelöstem Gase gesammelt, so wird der Apparat in die verticale Lage gebracht und ein Vacuum bis zum oberen Theil des Rohres B gebildet. Man wartet, bis das Blut aus dem mittleren Glasstück in das untere herabfliesst. Wenn nun in dem ersteren die Flüssigkeit nur in Form einer feinen, grün durchscheinenden Schicht an den Wänden bleibt, schliesst man die Klemme g zu, macht dagegen die Klemme b auf, um das Vacuum im Rohre B mit Quecksilber zu füllen. Hiernach wird der Apparat mit oft erwähnter Vorsicht umgelegt und der Gasrecipient sammt dem Rohre B_1 abgenommen. Im Falle wo die rückständigen Gase durch den Querfortsatz D gefangen worden waren, überführt man jetzt dieselben in den Gasrecipienten, in welchem auch die Gasanalyse geschieht. In den Apparat werden nun ein neuer Gasrecipient und ein neues Rohr B oder auch das alte, nachdem es gewaschen und ausgetrocknet ist, eingebunden. Darauf werden beide mit Quecksilber gefüllt, das Rohr B_1 jedoch nicht ganz voll, um einen Raum für die wässerige Weinsäurelösung zu lassen. Diese durch Kochen von der Luft befreite Flüssigkeit giesst man noch heiss in das Rohr hinein, schliesst darauf die Klemme e zu, stellt den Apparat vertical, bildet das Vacuum und lässt das Blut kochen.

Es ist leicht einzusehen, dass das Verfahren für die Gewinnung der chemisch gebundenen Kohlensäure nicht tadelfrei ist: 1. Ein Theil des Blutes geht verloren[2]; 2. es ist absolut unmöglich, ohne Hülfe des luftleeren Raumes aus dem Rohre B_1 die letzten Spuren von Luft durch Queck-

---

[1] Hier kann so gleich bemerkt werden, dass zum Auskochen des normalen arteriellen Blutes das Vacuum 5—6 Mal erneuert werden musste; dagegen bei den Erstickungsversuchen, wo das Blut nur Spuren von O enthält, brauchte diese Operation nur 3—4 Mal wiederholt zu werdem.

[2] Wie klein übrigens der aus diesem Verluste entstehende Fehler ist, zeigt folgende Berechnung. Wir werden unten sehen, dass das arterielle Blut nicht über 3 Vol. % chemisch gebundener Kohlensäure enthält. Gesetzt, der Blutverlust sei = 0,5 ccm., was gewiss zu hoch genommen ist, so beträgt der Gasverlust nicht einmal 0,02 ccm., was die Grenzen der Beobachtungsfehler kaum überschreitet.

silber auszutreiben: bei Bildung des luftleeren Raumes stiegen immer einige Luftbläschen aus dem Kautschukgelenke *g* empor. Der letzte Umstand war gewiss Schuld daran, dass ich in keinem einzigen Versuche vollkommen reine Kohlensäure bekommen habe.

Es lässt sich aber ein Verfahren für das Gewinnen der chemisch gebundenen CO_2 angeben, welches viel einfacher und frei von den Mängeln des beschriebenen ist. Leider kam die Idee dazu zu spät, nämlich im Verlaufe meines letzten Versuches. Man braucht bloss den Gasrecipienten aus zwei über einander liegenden mittelst Kautschuk verbundenen Glasröhren zu machen. Das obere, getheilte und kalibrirte Stück dient zum Auffangen der aufgelösten Gase, die chemisch gebundene CO_2 wird in dem unteren gesammelt. Der nach dem letzten Sammeln im Rohre B_1 zurückgebliebene Theil der gelösten Gase wird wie früher durch den Querfortsatz *D* aufgefangen, von hier aber in ein zweigliederiges, in der Mitte durch ein Stück Kautschuk zusammenhängendes Rohr geführt. Nachdem das Gas in das obere Glied (der Apparat in horizontaler Lage gedacht) eingedrungen ist, schliesst man dasselbe von dem unteren ab; dann wird die Klemme *e* zuge-

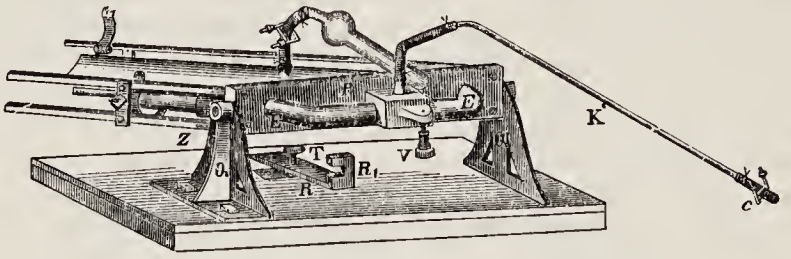


Fig. 2

macht und das zweigliederige Rohr entfernt. In das auf diese Weise wieder frei gewordene Ende des Kautschuks auf dem Querfortsatze *D* bindet man ein an seinem freien Ende mit Kautschuk und Klemme versehenes Kugelrohr ein, füllt dasselbe mit kochender Weinsäurelösung, schliesst es von der Luft ab, lässt erkalten und führt hernach die Flüssigkeit durch Oeffnen der Klemme *e* in das Rohr B_1 hinein.

Auf diese Weise wird die durch den Apparat gegebene Methode des Gewinnens der Gase aus dem Blute zu einer fast fehlerfreien. Sie schliesst einen einzigen und zwar sehr unbedeutenden Fehler ein. Es ist nämlich unmöglich, das Blut, welches während seines Kochens aus dem Recipienten in das Rohr *B* übergeht, vollständig in denselben wieder zurückzuführen; folglich wird beim Comprimiren der letzten Portion der Gase immer ein Theil derselben durch dieses in den Röhren B B_1 zurückgebliebene Blut wieder resorbirt. Ein Theil des Gases geht also verloren und auch die quantitative Zusammensetzung des Gasgemenges wird etwas verändert. Ich werde versuchen, die Grösse des Gasverlustes durch ein Beispiel, wo alle Bedingungen am ungünstigsten genommen sind, annähernd zu bestimmen. Gesetzt, die Menge des in den Röhren BB_1 zurückgebliebenen Blutes sei = 1 K. C. M., die letzte Portion der Gas ebestehe aus reiner CO_2, die abso-

lute Absorptionsgrösse dieses Gases im Blute bei 20 Grad C. sei=1,5; man setze voraus, dass das Blut Zeit genug hatte (das Comprimiren der Gase erfolgt ohne Erschütterung der Flüssigkeit und dauert 2—3 Min.), die dem Absorptionsvermögen entsprechende Gasmenge zu absorbiren;—so ist die absorbirte Gasmenge=1,5 K. C. M. Wenn man aber bedenkt, dass in diesem Beispiele alle Grössen absichtlich hoch genommen sind, einige Bedingungen nicht immer existiren oder absolut unmöglich sind, wie es mit der Absorption der CO_2 bis zur Sättigung unter gegebenen Verhältnissen der Fall ist, so reducirt sich der Gasverlust im schlimmsten Falle gewiss auf die Hälfte des angegebenen. Solch ein Fehler hat einen unbedeutenden Einfluss auf die Zahlen für die im Blute aufgelösten Gase (auf 100 Th. Blut geht höchstens ein Vol.-Procent Gas verloren), weil deren relative Menge sehr hoch ist. Dagegen ist dieser Gasverlust viel bedeutender für die Grössen der chemisch gebundenen CO_2, weil sie im Blute sehr gering zu sein pflegen.

Jetzt führe ich meine Versuche mit dem Blute des erstickten Thieres an. In allen ist die Gasanalyse nach der Bunsen'schen Methode geschehen.

1. Versuch

Angewandte Blutmenge = 101,40.

Die Gesammtm. d. im Blute aufgel. Gase	Beob. Vol. d. Gas	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Im Gas rec. Q. Nach dem Trockn. mit $CaCl_2$	53,552	15,2° C.	0,78073	39,606
Nach Abs. d. CO_2	9,519	15,6° C.	0,66339	5,973
Zu Ende II. Nass	8,460	15,7° C.	0,57874	4,630
Nach Zusatz v. H	26,512	16,1° C.	0,61032	15,280
Nach Explosion	21,322	16,1° C.	0,582	11,746
Chem. geb. CO_2 im Recip. P				
Nach dem Trockn. mit $CaCl_2$	6,575	15,2° C.	1,711	* 4,428

Folglich enthalten	O	N	Frei aufgel. CO_2	Chem. geb. CO_2
101,4 Th. Blut	1,178	4,795	33,633	4,428

2. Versuch.

Angewandte Blutmenge = 99,991.

Die Gesammtm. d. im Bl. aufgel. Gas.	B. V. d. G.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Recip. Q. Nach d. Trockn. m. $CaCl_2$	41,573	16,2°	0,74939	29,411
Nach. Abs. d. CO_2	3,908	18,°	0,3817	1,399

Die in das Eudiometer überführbare Gasmenge war so klein, dass sie nicht mehr gemessen werden konnte. Einige Wasserstoffbläschen wurden hinzugesetzt, um zu sehen, ob das Gemenge explodiren wird. Es trat eine kaum wahrnehmbare Erschütterung der Quecksilberoberfläche in dem Eudiometer ein.

* Die Spuren von Luftverunreinigungen waren in jedem Versuche durch das Einführen der Kalikugel qualitativ nachgewiesen, ihre quantitative Bestimmung blieb jedoch aus dem Grunde aus, weil alle meine Zahlen für chemisch gebundene CO_2 infolge des erwähnten Fehlers der Methode ohnedies um ein Geringes zu klein sind. Man betrachte die geringe Verunreinigung als Compensation für den Verlust an CO_2.

Chem. geb. Gase	B. V. d. G.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Recip. P. Nass gemessen	5,285	16,2°	0,65881	3,286
Folglich enthalten	O	N	Freie CO_2	Chem. geb. CO_2
99,991 Th. Blut	Spuren	1,399	28,012	3,286

3. Versuch

Angewandte Blutmenge = 102,70

Gesammtm. d. im Bl. aufgel. Gase	Beob. V. d. Gas.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Recip. Q. Nass	56,646	16,8°	0,76597	40,395
Nach Abs. d. CO_2	3,514	19,1°	9,3696	1,213
Chem. geb. CO_2				
Recip. P. Nass gemessen	7,390	16,8°	0,5919	4,120

Zur qualitativen Prüfung auf O wurden in das Absorptionsrohr Lösungen von Kali und Pyrogallussäure eingebracht. Die Flüssigkeit nahm eine leicht braune Farbe an. Somit enthalten

	O	N	Freie CO_2	Chem. geb. CO_2
02,70 Th. Blut	Spuren	1,213	39,182	4,120

In diesem, so wie im nächst folgenden Versuche wurde die Lungenluft des Thieres nach seiner Erstickung analysirt[1]. Beim Sammeln derselben, welches gleich nach dem Auffangen des Blutes geschah, bemühte man sich, die ganze Gasmenge aus der Lunge zu bekommen, indem ausser Compression der Thoraxwand die Eröffnung des Pleurasackes und das Eingiessen von Quecksilber in denselben angewandt wurde. Eine Probe aus der gesammten über *Hg* aufgefangenen und wohl umgeschüttelten Luft diente zur Analyse.

Lungenluft	Beob. V. d. Gas.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Nass	28,135	16,8°	0,76522	20,282
Nach Abs. d. CO_2	23,357	17,1°	0,77859	17,114
In End. II. Nass	19,322	17,2°	0,7631	13,871
Mit Wasserstoff	21,483	17,2°	0,7857	15,879
Nach Explos. m. Knallgas	22,134	17,3°	0,7604	15,828

Folglich enthalten 100 Th. Lungenluft . . . { CO_2 15,62; N 84,38; O Spuren

4. Versuch.

Blutmenge = 99,626.

Chem. geb. CO_2	Beob. V. d. Gas.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Recip. P. Nass	3,209	17,6°	0,559	1,685
Gesammtm. d. Aufgel. Gase	Beob. V. d. Gas.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0 u. 1 M. Dr.
Recip. Q. Nass	69,110	17,6°	0,62626	40,66
Nach Abs. d. CO_2	4,147	17,4°	0,49965	1,948

Spuren von Sauerstoff wie im vorigen Versuche nachgewiesen

[1] W. Müller (Beitr. z. Resp. Berichte d. Wien. Akad. Bd. XXXII, 1858) hat bekanntlich bloss Spuren von O in der Lungenluft der erstickten Thiere gefunden; darum war ich berechtigt, so eine kleine Menge Wasserstoff einzuführen.

	O	N	Freie CO_2	Chem. geb. CO_2
99,626 Th. Blut enthalten	Spuren	1,948	38,712	1,685
Lungenluft	Anf. Vol. d. Gas.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Nass	27.316	17,6°	0,64324	16,507
Nach Abs. d. CO_2	20,765	17,4°	0,73815	14,403
In End. II Nass	21,412	17,5°	0,64321	12,943
Mit H	22,310	17,5°	0,6823	14,300

Keine Explosion.

100 Th. Luft enthalten { CO_2 12,746; N 87,254; O vielleicht Spuren.

Jetzt will ich die Resultate der Versuche auf 100 Th. Blut berechnen und in eine Tabelle zusammenstellen.

Nummer des Versuches	O	N	Freie CO_2	Gemisch gebundene CO_2	Gesammte Menge der CO_2
1	1,161	4,728	33,168	4,366	37,534
2	Spuren	1,399	28,012	3,286	31,298
3	Spuren	1,181	38,152	4,011	42,163
4	Spuren	1,955	38,857	1,791	40,648

Die Zahlen dieser Tabelle an und für sich betrachtet, geben nur ein einziges Factum: das Verschwinden des Sauerstoffs aus dem arteriellen Blute des erstickten Thieres. Diese Erfahrung giebt einen ungeahnten Beleg für die energischen Verwandtschaften des lebenden Thieres zum Sauerstoff.

Nach einer anderen Seite hin merkwürdig erscheinen die vorstehenden Zahlen, wenn man sie mit denen zusammenstellt, welche L. Meyer für die Gase des normalen arteriellen Hundeblutes gefunden hat.

Nummer des Versuches	O	N	Freie CO_2	Chemisch gebundene CO_2	Gesammte Menge der CO_2
12. Febr. 1	9,44	2,15	4,27	21,74	26,41
19. Febr. 2	13,99	3,45	1,01	16,93	19,94
28. Febr. 1	10,86	3,83	4,69	21,72	26,01

Zur leichteren Vergleichung habe ich seine Zahlen auf 1 M. Dr. umgerechnet und hier hingeschrieben. Die Gasvolumina sind auf 100 Th. Blut berechnet.

Abgesehen von allem übrigen zeigt sich zuerst zwischen dem Verhältniss der freien und gebundenen CO_2 in den beiden Tabellen ein auffallender Unterschied. Während in den Beobachtungen von Meyer die freie zur gebundenen CO_2 im Verhältniss von 1 zu 4 bis 6 steht, ist dasselbe im Blut der erstickten Thiere wie 1 zu 0,11 bis 0,04. Es war zuerst zu fragen, ob das Ueberwiegen der freien CO_2 in meinem Fall von der Blutart oder von der Methode abhing.

Um mit der Sache in's Klare zu kommen, unternahm ich die Bestimmung der Gase im normalen arteriellen Blute.

1. Versuch.

Blutmenge = 99,626.

Aufgel. Gase	Beob. V. d. Gas.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
Rec. Q. Nass	63,222	17°	0,75157	44,732
Die durch Querforts. D gefang. letzte Port. d. Gas. Nass	3,467	17°	0,61655	2,012
Beide Portion. in Q.				
Nach Absorpt. d. CO_2	22,863	13,2°	0,74231	19,189
Zu End. II. Nass	10,050	15,7°	0,63132	6,00
Mit Wasserst	79,040	15,7°	0,763	57,031
Nach Explos. m. Knallgas	60,838	15,7°	0,70134	40,350
Chem. geb. Gase				
Recip. P. Nass	4,802	17°	0,55057	2,534
Folglich enthalten	O	N	Freie CO_2	Chem. geb. CO_2
99,626 Th. art. Blut	15,001	1,188	30,555	2,534

2. Versuch.

Blutmenge = 103,424.

Aufgel. Gase	Beob. V. d. Gas.	Temp.	Dr.	Vol. bei 0° u. 1 M. Dr.
in Q. Nass	62,166	17,6°	0,7386	43,137
Die letzte Port. d. gel. Gas. in Absorptions. VII. Nass	7,091	17,6°	0,6488	4,322
Durch Unvorsicht eine Luftblase hineingekommen	9,210	20°	0,606	5,200
In Q. nach Abs. d. CO_2	27,140	17,8°	0,67881	17,296
In VII nach Abs. d. CO_2	3,153	17,8°	0,60731	* 1,797
Die beiden Portion. sind ohne Gasverlust in Q. zusammengebracht und in End. II überführt. Nass	12,100	17,8°	0,62808	7,134
Mit Wasserstoff	85,615	18°	0,72299	58,072
Nach Expl. m. Knallgas	60,570	18°	0,6831	38,817
Chem. geb. Gas. Rec. P. Nass	4,813	17,6°	0,5318	2,404
	O	N	Freie CO_2	Chem. geb. CO_2
103,420 Th. Blut enthalten	16,973	1,242	29,244	2,404

* Man sieht, dass die aus dem arteriellen Blute zuletzt austretenden Gase keine reine Kohlensäure sind,

Die Zahlen der beiden Versuche auf 100 Th. Blut bezogen, geben:

	O	N	Freie CO_2	Chem. geb. CO_2
1. Versuch	15,05	1,192	30,66	2,54
2. Versuch	16,41	1,20	28,27	2,32

Diese Zahlen, welche ich durch meine Abreise von Wien zu vermehren verhindert war, zeigen, dass der früher hervorgehobene Unterschied zwischen Meyer's und meinen Beobachtungen in der Methode begründet ist. In dem von mir verwendeten Apparat gehören CO_2-Mengen noch zu den durch Wärme austreibbaren, welche in dem Meyer'schen schon als fixe angesehen wurden.—Diese meine Erfahrung lässt sogleich die Folgerung zu, dass im Blute des Hundes sehr wenig NaO, CO_2 enthalten sein muss. Wenn also, wie dieses die Versuche von Meyer bewiesen haben, ein sehr grosser Theil der im Blute vorhandenen CO_2 nicht absorbirt, sondern gebunden ist, so muss das Bindemittel durch das $2NaO,PO_5$ gegeben sein, welches nach Fernet diese Rolle übernehmen kann.

Um den schon früher als wahrscheinlich hingestellten Grund für den Unterschied des Kohlensäurebefundes von Meyer und mir zu bestätigen, unternahm ich noch den Versuch, das Blut in einem kleineren luftleeren Raume auszukochen, als bisher geschehen; dabei sollte noch die Dauer des Kochens nach den Meyer'schen Vorschriften eingerichtet werden. Der einzige Versuch, den ich in dieser Richtung anstellte, gelang nur soweit, dass der Gehalt CO_2 der zuerst ausgekochten Luft bestimmt werden konnte. Die Analyse ergab auf 100 Th. Blut 5,3 Th. CO_2, also dieselbe Zahl, welche L. Meyer in seinen Versuchen gefunden. Danach wäre es sehr wahrscheinlich, dass der im Verhältniss zur Blutmenge kleine Umfang seines Vacuums die Ursache seiner kleinen Zahlen für CO_2 ist.

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse des zweiten Beitrages zeigt:

1. In dem Zeitpunkt der Erstickung, in welchem sich eben die Reflexe vom Nervus Quintus aus verloren haben, wo aber Athembewegung und Herzschläge noch bestehen, enthält das Blut keinen durch Kochen und das Vacuum abscheidbaren Sauerstoff mehr.

2. In dieser Zeit ist, wie schon W. Müller bewiesen, auch aller Sauerstoff aus der Lungenluft entfernt, vorausgesetzt, dass der Erstickungsraum den Umfang des Brustkastens nicht überschritten.

3. Die freie, durch Wärme und verminderten Luftdruck abscheidbare CO_2 ist im normalen Arterienblut um das 3- bis 4fache grösser, als man bisher angenommen. Dieser grosse Gehalt verdunstbarer CO_2 des Blutes im Verhältniss zu dem meist sehr niedrigen Gehalt der Athmungsluft an diesem Gase macht die grosse Geschwindigkeit der Abdunstung aus dem Blute in die Lungenluft begreiflich.

4. Das Blut des Hundes enthält sehr wenig NaO, CO_2; insofern also die CO_2 im Blute nicht bloss nach der Dalton-Bunsen'schen Regel absorbirt ist, muss sie an $2NaO$, PO_5 gebunden sein.

5. Erlaubt man sich die nach gleichem Verfahren gewonnene procentische Gasmenge des erstickten und nicht erstickten Blutes zu vergleichen, so ergibt sich:

a) die procentischen Gasmengen des erstickten Blutes sind kleiner als die des normalen.

b) Stickstoffgas und die nur durch Säuren abscheidbare CO_2 verändern sich nicht durch die Erstickung.

c) Im Erstickungsblute hat sich die freie CO_2 gemehrt, jedoch nicht in dem Verhältniss, in welchem der O abgenommen. Der Grund hierfür kann ebensowohl im Austritt von Gasen aus dem Blute wie auch darin gesucht werden, dass ein Theil des Sauerstoffes auf andere Weise als zur Bildung von CO_2 verwendet wurde.

6. Im erstickten Thier ist der Unterschied zwischen dem Gehalt der Lungenluft an freier und dem des Blutes an verdunstbarer CO_2 ein sehr beträchtlicher; ob dennoch eine Ausgleichung der Spannung zwischen der CO_2 im Blut und in der Lungenluft stattgefunden, bedarf einer weiteren Untersuchung.

DIE KOHLENSÄURE DES BLUTES

1. Die Frage uber die Vertheilung der Kohlensäure zwischen den Elementen des Blutes und ihren Zustand in den letzteren steht bekanntlich noch sehr weit von ihrer definitiven Lösung.

Als Kohlensäureträger pflegt man bis jetzt hauptsächlich oder sogar ausschliesslich die Stoffe des Plasma und zwar dessen mineralische Bestandtheile zu betrachten. Versuche an geronnenem Blute von Zuntz[1] und A. Schmidt[2] stehen damit allerdings nicht im Einklange, indem durch dieselben die Gegenwart der CO_2 in den rothen Blutkörperchen ausser Zweifel gesetzt worden ist. Die Bedeutung dieser Befunde wird aber gewöhnlich durch folgende Betrachtungen entkräftet: enthält nämlich das Serum, resp. das Plasma, Alkalien mehr als genug zur Deckung des ganzen Vorrathes des Blutes an CO_2, besonders wenn man sich die letztere in Form von Natriumbicarbonat gebunden denkt (Sertoli[3]); und erleidet das Blut bei seiner Gerinnung zu starke Aenderungen in seiner Alkalescenz, um die an geronnenem Blute gewonnenen Erfahrungen auf das normale zu übertragen (Zuntz[4]).

Nicht mindere Unsicherheit herrscht in Bezug auf die Frage über den Zustand der CO_2 im Plasma. Ein wie grosser Theil der gesammten CO_2 hier im aufgelösten Zustande, wie viel in schwacher chemischer (diffusionsfähiger) Verbindung und wie viel in fest gebundenem Zustande sich befindet, sind lauter unentschiedene Fragen. Es existiert sogar die Meinung, dass das stark alkalisch reagierende Blutplasma gar keine CO_2 im aufgelösten Zustande enthalten kann.

Von den Stoffen des Serums, welche CO_2 chemisch zubin den im Stande sind, nennt man mit Sicherheit eigentlich nur zwei: CNa_2O_3 und PNa_2HO_4. Von dem letzteren sind unsere Kenntnisse in einer Beziehung positiv: die Menge dieses Salzes ist nach den Analysen von Sretoli[5] und Mroczkowski[6] im Serum einiger Pflanzenfresser und des Hundes so gering, dass es so gut wie gar keine Rolle in der Bindung von CO_2 spielen kann. Bezüglich des anderen Salzes sind aber unsere Kenntnisse höchst ungenügend. Die Menge

---

[1] Verth. d. Kohlens. im Bl., Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1867. № 34.
[2] Ueb. die Kohlens. in d. Blutkörp., Arb. d. phys. Anst. zu Leipz. 1868.
[3] Ueb. die Bind. d. Kohlens..., Med.-chem. Unt. von Hoppe-Seyler III II. 1868.
[4] l. c.
[5] l. c.
[6] Centralbl. f. d. med. Wissensch. 1878. № 20.

von CNa_2O_3 im Serum pflegt man bis jetzt aus dem unauspumpbaren Rest der CO_2 in dieser Flüssigkeit abzuleiten und zwar werden von einigen die niedrigeren Zahlen als die sichereren betrachtet; dem widersprechen aber die Erfahrungen von Sertoli, nach welchem im Serum solche Stoffe vorhanden sein müssen, welche CNa_2O_3 im Vacuo zu zersetzen im Stande sind. Man ist weiter geneigt zu denken, dass CNa_2O_3 im Plasma nicht als solches, sondern in Form von Natriumbicarbonat enthalten sein müsse; diese Annahme ist aber sehr schwer mit den Ergebnissen der Serumaschenanalysen zu vereinigen. So enthielten nach Sertoli auf Grund einer solchen Analyse 100 gr. Rinderblutserum 0,1165 gr. uberschüssiges Na_2O. Wäre diese ganze Menge an CO_2 in Form von $CNaHO_3$ gebunden, so müssten 100 gr. (also weniger als 100 ccm) Serum 84 ccm CO_2 auf 0° und 760 mm reduc., oder 63,8 ccm auf 0° und 1 M. reduc. enthalten—eine Menge, welche alle bis jetzt im Serum verschiedener Thiere gefundenen Werthe für CO_2 bei weitem übertrifft.

Noch complicirter gestalten sich die Verhältnisse, sowie man die relativ hohe Diffusibilität der Serumkohlensäure in Betracht zieht: weder $CNaHO_3$ noch das sogenannte Fernet'sche Salz sind im Stande dieselbe zu erklären—ersteres nicht, weil die beweglichere Hälfte seiner Kohlensäure weniger diffusibel ist, als der entsprechende Theil der Serumkohlensäure; letzteres nicht, weil es in zu geringen Mengen enthalten ist.

Dieser Umstand im Verein mit der Unverträglichkeit zwischen dem Na_2O- und CO_2- Gehalt des Serums hat bekanntlich Sertoli bewogen, die Aufklärung der Widersprüche in den saueren Eigenschaften der Eiweissstoffe zu suchen; und es gelang ihm in der That, die zersetzende Einwirkung des Globulins aus den Krystallinsen auf CNa_2O_3 sehr scharf zu beweisen. Leider waren seine Versuche mit den Eiweisstoffen des Serums bei weitem nicht so überzeugend, so dass seine sinnreiche und höchst fruchtbare Idee nur in Form einer Hypothese blieb.

In einer noch schlimmeren Lage befindet sich endlich die Frage über die Rolle der Blutkörperchen in dem normalen respiratorischen CO_2-Austausch. Den besten und kürzesten Beweis hierfür liefern die Lehrbücher der Physiologie, indem in denselben diese Rolle weder negirt noch behauptet wird.

2. Die vorliegende Untersuchung hat zum Zweck, die meisten der in dieser kurzen Skizze angedeuteten Lücken auszufüllen.

Zunächst suche ich mittelst Absorptionsversuche am Serum verschiedener Thiere das allgemeine Verhalten dieser Flüssigkeit gegen CO_2 festzustellen. Hierauf nehme ich alle bekannten Stoffe des Serums nach einander, welche an der chemischen Bindung von CO_2 theilnehmen können, und suche aus ihrem Verhalten gegen dieselbe den früher gefundenen absorptiometrischen Charakter des Serums zu reconstruiren. Diese Data nebst nöthiger Vorversuche bilden den ersten Theil meiner Abhandlung. Der 2te Theil derselben ist dem Studium des Verhaltens der Blutkörperchen gegen CO_2 gewidmet. Am Schlusse desselben behandle ich endlich die Frage, inwiefern die an den Bestandtheilen des defibrinirten Blutes gesammelten Erfahrungen auf das normale Blut übertragen werden dürfen; inwieweit mit anderen Worten das Verhalten der beiden Hauptbestandtheile des Blutes

gegen CO_2 durch die bei seiner Gerinnung stattfindenden Umsetzungen modificirt wird.

Die absorptiometrische Methode, deren ich mich bei diesen Versuchen bediente, blieb in allen ihren Einzelheiten dieselbe, welche in meiner früheren Abhandlung «Ueber die Abs. d. Kohlens. durch Salzlösungen»[1] ausführlich beschrieben worden ist.

I. Versuche am Serum

3. Bekanntlich hat das Serum die Eigenschaft nur einen Theil seiner CO_2 dem Vacuum abzugeben, und zwar einen desto grösseren, je stärker unter gleichen Bedingungen die Flüssigkeit ausgepumpt wird. Dieser für meine Versuche beim ersten Anblick höchst bedenkliche Umstand erwies sich glücklicherweise bei weitem nicht so schädlich, wie ich es mir anfangs dachte; andererseits liess er sich mittels sehr einfacher Kunstgriffe und Anpassungen leicht umgehen oder sogar beseitigen. Es hat sich nämlich im Laufe der Untersuchung herausgestellt, dass, soweit die Absorptionsversuche die Feststellung des absorptiometrischen Charakters des Serums zum Zweck haben, es für die Sache gleich ist, ob man mit einem vollständig oder unvollständig ausgepumpten Serum arbeitet: in beiden Fällen behält die CO_2-Absorption ihren eigenthümlichen Charakter unverändert, weil letzterer durch jenen beweglicheren Theil der chemisch gebundenen CO_2 bedingt ist, welcher aus dem Serum auch bei dem unvollständigen Auspumpen desselben entweicht. In allen solchen Fällen hatte ich demnach nur um ein möglichst vollständiges Auspumpen des Serums zu sorgen; und dieses war leicht zu erreichen, da ich mich zum Zwecke der Entgasung der Flüssigkeiten einer gewöhnlichen *unaufhörlich arbeitenden* Luftpumpe bediente und dem mit Trockenraum versehenen Vacuum sehr grosse Dimensionen gab (über 3 Lit. Inhalt).

Da wo es sich um vergleichende absorptiometrische Bestimmungen handelte, wurden die zu denselben bestimmten Portionen Serum auf einmal ausgepumpt. Die paarigen Versuche 2, 3, 4 und 5 der nächstfolgenden Tab. I zeugen dafür, dass man auf diesem Wege vollkommen gleiche Absorptionsgrössen in je zwei Portionen eines und desselben Serums erhält.

Für diejenigen Fälle endlich, wo es sich um die quantitative Seite der Absorptionserscheinungen handelte, wo das Serum unbedingt vollständig ausgepumpt werden musste, wurde folgende Anpassung getroffen. Die aus dem Serum bei dem Auspumpen entweichenden Gase leitete ich durch 2 Wulff'sche Flaschen (jede von ungefähr 1,5 Lit. Inhalt), von denen die erste (dem Serumgefäss nähere), in's Eiswasser getauchte, als Kühlgefäss wirkte, während die zweite (der Luftpumpe nähere), mit Schwefelsäure gefüllte, als Exsiccator und zugleich als Anzeiger der sich entwickelnden Gase diente. Letztere mussten nämlich die Schwefelsäureschicht durchsetzen und da sie bei einem luftdichten Verschluss aller Theile der Gasleitung nur aus dem Serum stammen konnten, so hatte man in dem Aufhören der Blasenentwickelung im SH_2O_4-Gefäss ein Zeichen, dass die Flüssigkeit vollständig entgast ist.

[1] Mém. de l'Acad. des sc. de St.-Pétersb. T. XXII, № 6.

Da es mir ferner unmöglich war mehr als einen einzigen Absorptionsversuch am Tag anzustellen, so war ich genöthigt zu prüfen, wie lange und in welchem Grade das Absorptionsvermögen des Serums beim Stehen des letzteren im Eis unverändert bleibt. Die hierauf bezüglichen Beobachtungen von A. Schmidt[1] und Zuntz[2] waren für meine Zwecke offenbar ungenügend, da es sich bei meinen Versuchen nicht nur um die quantitativen Verhältnisse der chemisch gebundenen und der aufgelösten CO_2, sondern auch um den allgemeinen Charakter der Absorption handelt. Als Beispiele mögen die in der Tab. I zusammengestellten Bestimmungen am Hundeserum verschiedener Frische gelten.

In dieser Tabelle bedeutet V das Volumen der Flüssigkeit; t die Temperatur; p den Druck in mm Quecksilb.; A die totalen Absorptionsgrössen; VX die totalen chemischen Bindungsgrössen. Letztere sind in allen Versuchen mittelst eines und desselben Lösungscoëfficienten ausgerechnet. V, A und VX sind in ccm angegeben.

Tab. I.

№	V	t	p	A	VX	Bes. Bemerk.
1	45,21	15,2°C	622,78 724,71 876,73	37,148 41,772 48,652	9,13 9,16 9,20	Gerinnung im Eis. 36 Stunden nach dem Aderlass. unters.
2	45,62	15,2°C	398,26 437,35 467,78	26,619 28,594 30,068	8,7 8,9 9,0	Gerinn. im Eis. 5 Tage nach d. Aderlass.
			649,79 811,37	38,099 45,510	8,9 9,0	Dasselbe Serum 24 St. später.
3	45,21	15,2°C.	204,04 222,24 246,67	16,418 17,210 18,468	7,24 7,21 7,37	10 Tage im Eis nach dem Aderl.
			633,62 733,61 863,03	35,946 40,429 46,342	7,43 7,42 7,51	Dasselbe Serum 24 St. später.
4	45,21	15,2°C.	80,97 82,00	9,963 9,718	6,0 6,0	5 Tage im Eis nach d. Aderl. Dasselbe Ser. 24 St. später.
5	45,21	15,2°C.	634,55 727,72 846,81	33,245 37,509 42,929	4,55 4,61 4,65	1 Vol. frisch. Serum+1 Vol. Wasser.
			635,09 726,75 844,36	32,894 37,286 42,580	4,18 4,43 4,41	Dasselbe Gemisch 24 St. später.

Man ersieht aus den Zahlen dieser Tabelle, dass das Absorptionsvermögen des sich einmal gebildeten Serums erst nach Ablauf von 5 Tagen zu sinken beginnt, wenn die Flüssigkeit im Eis steht. Auch das Verhalten der chemischen Bindungsgrössen gegen die Schwankungen des Druckes bleibt während dieser Frist unverändert, wie wir es später sehen werden. Auf Grund dieser Versuche wurden alle unter einander zu vergleichenden Bestimmungen an 2—höchstens an 3 nach einander folgenden Tagen angestellt.

[1] l. c.

[2] Beitr. z. Phys. d. Blutes, Inaug. Disserz. Bonn 1868.

4. Eine weitere Fehlerquelle ist durch die Beimischung der Blutkörperchen zu dem Serum gegeben. Um ihre Grösse zu bestimmen, verglich ich die Absorptionsgrössen [sowohl die totalen als die chemischen] zweier Portionen eines und desselben Hundeserums unter einander, von denen die erste die Blutkörperchen nur spurweise enthielt, während zu der zweiten so viel Cruor zugesetzt war, dass die Flüssigkeit deutlich roth aussah. Der Erfolg ist aus den beigegebenen Zahlen ersichtlich.

№	*V*	t	*p*	*A*	*VX*	Bes. Bemerk.
			622,78	37,148	9,13	
1	45,21	15,2°C.	724,71	41,772	9,16	Reines Serum.
			876,73	48,652	9,20	
			593,75	37,703	10,02	
6	45,21	15,2°C.	715,53	42,770	10,57	Dasselbe Serum mit Cruor, 48 St.
			852,58	48,822	10,52	später unters.

Auf Grund dieser Zahlen lässt sich mit Bestimmtheit behaupten, dass die in Folge einer spurweisen Verunreinigung des Serums durch die Blutkörperchen entstehenden Fehler unmessbar klein sind.

Endlich habe ich noch die Lösungscoëfficienten des Serums sowohl in allen bis jetzt angeführten als in den weiter anzuführenden Versuchen mit einigen Worten zu berühren.

Diese aus den totalen Absorptionsgrössen auf die bekannte Weise ausgerechneten und in der später anzuführenden Tab. II sub *Y* angeführten Grössen erwiesen sich für alle von mir untersuchten Serumarten einander gleich und den Lösungscoëfficienten des Wassers für die entsprechenden Temperaturen sehr nahe liegend.—Für t=15,2° C. beträgt ihr durchschnittlicher Werth 0,99, während der Lösungscoëfficient des Wassers für diese Temperatur nach meinen früheren Versuchen 1,01 beträgt. Directe Bestimmungen dieser Grösse am angesäuerten Serum wurden natürlich nicht versäumt, haben jedoch ergeben, dass man auf diesem Wege zu keinen sicheren Resultaten gelangen kann, weil das Ansäuern des Serums [ich habe dazu ausschliesslich SH_2O_4 benutzt], sogar mit einem nachherigen Auspumpen desselben verbunden, die chemische Bindung von CO_2 nur dann vernichtet, wenn die Säure in starkem Ueberschusse zugesetzt wird. In einem solchen Versuche, wo der Lösungscoëfficient wegen des zu grossen Ueberschusses von SH_2O_4 etwas zu klein ausfallen sollte [1], erhielt ich ihn übrigens für 15,2° C.=0,976, d. h. dem durchschnittlichen Werth der aus den totalen Absorptionsgrössen ausgerechneten Coëfficienten ziemlich nahe stehend. Aus diesem Grunde habe ich im Allgemeinen als Lösungscoëfficient des Serums denjenigen des Wassers für die entsprechende Temperatur, multiplicirt mit 0,99 angenommen. Sämmtliche *VX* in den Tab. I und II sind mittelst solcher Coëfficienten ausgerechnet. Da aber die letzten 6 Versuche in der Tab. II bei 37°—37,5° C. angestellt worden sind, so war ich genöthigt, den dieser Temperatur entsprechenden Lösungscoëfficienten der CO_2 im Wasser zu bestimmen. Es existiren zwar indirecte Bestimmungen dieser

[1] Weil die Sulfate in Lösungen nach meinen Versuchen mit Salzen einen niedrigeren Lösungscoëfficienten besitzen als die Chloriden.

Grösse von Zuntz [1], sie beziehen sich aber auf eine zu hohe Temperatur (39 und 39,2° C.). Zwei derartige Versuche führe ich an.

№	V	t	p	A	$A_1 \times \frac{P_2}{P_1}$	Lösungcoëff.
7	50,179	37°—37,5° C.	432,55	12,354		0,569
			570,68	16,423	16,299	0,573
8	50,179	»	369,85	10,569		0,569
			474,95	13,511	13,572	0,569

Indem ich nun zu den Versuchen übergehe, welche das Verhalten des Serums zu CO_2 aufzuklären bestimmt sind, will ich erst die allgemeinen Gesichtspunkte auseinandersetzen, von denen aus die Ergebnisse dieser Versuche zu beurtheilen sind.

5. Das Studium der Absorptionserscheinungen von CO_2 durch verschiedene chemisch bindende Salzlösungen[2] hat mich zur Aufstellung zweier in absorptiometrischer Beziehung sehr von einander abweichenden Typen von CO_2-Bindung geführt. Dem ersten von ihnen entsprechen die Fälle, wo den chemischen Affinitäten des Salzes zu CO_2 nichts im Wege steht und wo demnach die chemischen Bindungsgrössen der CO_2 sich nach den Mengen des Salzes im Sinne einer vollständigen Sättigung seiner Affinitäten richten. Zu dem zweiten gehören hingegen alle Fälle, wo CO_2 durch Lösungen von Salzen mit schwachen Säuren im Sinne Berthelot's absorbirt wird. Als Beispiel der Bindung ersterer Art kann die Absorption von CO_2 durch CNa_2O_3-Lösungen dienen, während die zweite Bindungsweise durch die Reaction der CO_2 mit $C_2NaH_3O_2$-Lösungen sehr charakteristisch angezeigt wird. In dem ersten von diesen Beispielen sind die Affinitäten des Salzes zu CO_2 so stark ausgesprochen, dass die den Erfordernissen der Bicarbonatbildung entsprechenden Erfolge der CO_2-Absorption so gut wie unabhängig von der Concentration der Flüssigkeit und von den Schwankungen des Druckes und der Temperatur des Gases sich erweisen; während im zweiten Beispiele die Verhältnisse eine ganz andere Gestalt haben. Hier besteht die Reaction in einer Zersetzung des Salzes sowohl durch das Wasser als durch CO_2 und zwar muss sie mit einem Freiwerden der Säure verbunden sein, welche mit CO_2 rivalisirt. Es liegen hier mit anderen Worten die Affinitäten der Base zu CO_2, nicht frei und es müssen von Seite der freigewordenen $C_2H_4O_2$ der Bindung von CO_2 Widerstände entgegengesetzt werden, und zwar desto grössere, je mehr freie $C_2H_4O_2$ die Lösung enthält. Aus diesem Grunde kann erstens dem Salze durch CO_2 nur ein unbedeutender Theil seiner Base entzogen werden und zweitens die Bindung der CO_2 bei weitem nicht so energisch wie im ersten Beispiele vor sich gehen. Absorptiometrisch charakterisirt sich dieser Fall durch die Abhängigkeit der chemischen Bindungsgrössen sowohl von der Concentration der Salzlösung als von dem Drucke des Gases[3]. Mit der Abnahme der Concentration nimmt die che-

[1] Inaug. Diss. p. 33.

[2] Ueb. d. Abs. d. CO_2 durch Salzlösungen, Mém. de l'Acad. des sc. de St.-Pétersb. T. XXII, № 6.

[3] Man könnte allerdings glauben, dass die Kohlensäure hierbei nur eine passive Rolle spielt, dass sie sich mit anderen Worten nur des Alkali bemächtigt, welches durch das Wasser abgespalten ist; dann würde aber die Abhängigkeit der chemischen Bindungsgrössen von dem Drucke sehr schwer zu erklären sein.

mische Bindung an absoluter Grösse ab, jedoch nicht so rasch wie die erstere, so dass relativ zu den Salzmengen in Lösung die chemischen Bindungsgrössen nicht ab-, sondern zunehmen. Mit der Abnahme des Druckes nehmen die chemischen Absorptionsgrössen ebenfalls ab. Ersteres erklärt sich durch die von Berthelot bewiesene zersetzende Einwirkung des Wassers auf Salze mit schwachen Säuren; letzteres durch die gleichzeitig stattfindend zersetzende Einwirkung der Kohlensäure.—Je mehr Wasser auf das Salz einwirkt, desto mehr Base wird in Freiheit gesetzt; je stärker der Druck ist, unter welchem die Absorption geschieht, desto concentrirter wird die zersetzende CO_2 sein.

Um die Abhängigkeit der chemischen Absorptionsgrössen von dem Druck an Lösungen von $C_2NaH_3O_2$ recht deutlich zu sehen, muss man die numerischen Werthe von VX in meinen Versuchen mit diesem Salze (l. c. p. 37 Tab. VII) mittels eines und desselben Lösungscoëfficienten ausrechnen. Bei $Y=1{,}01$ erhält man alsdann:

№	Concentr. auf 100 ccm	Druck.	Chem. Bind.
50	25,6 gr.	444,04	38,62
		547,97	41,67
51	$\frac{25,6}{4}$ gr.	559,46	14,59
		630,08	15,60
		725,35	15,83
		803,64	16,47
52	$\frac{25,6}{9}$ gr.	604,52	9,88
		704,15	10,32
		849,79	11,27
53	$\frac{25,6}{16}$ gr.	628,85	7,77
		734,99	8,39
		842,31	8,68
54	$\frac{25,6}{25}$ gr.	640,50	6,39
		711,82	6,73
		839,10	7,04

Nicht minder charakteristisch gestalten sich in diesem Falle die aus den totalen Absorptionsgrössen sich ergebenden Lösungscoëfficienten: erstens fallen sie beständig höher als die Lösungscoëfficienten des Wasser für die entsprechenden Temperaturen aus—ein Zeichen, dass in denselben ein Theil der beweglich gebundenen CO_2 mitenthalten ist; zweitens nehmen sie mit der Concentration der Lösung an Grösse zu. Letzteres kommt daher, weil unter übrigen gleichen Bedingungen in einer durch H_2O und CO_2 zersetzten Salzlösung die *absolute* Menge der in Freiheit gesetzten Säure desto grösser ist, je concentrirter die Lösung.

Dasselbe Studium hat mir weiter gezeigt, dass PNa_2HO_4 in absorptiometrischer Beziehung gerade in der Mitte zwischen beiden Extremen steht, indem es in schwachen Lösungen total, und zwar mit Bildung von $PNaH_2O_4$ und $CNaHO_3$*, in stärkeren nur theilweise zersetzt wird. Im letzteren Falle wirkt die Ansammlung von saurem Phosphat nach Art der Anhäufung freier Säure der weiteren Bildung von $CNaHO_3$ entgegen und treibt zu gleicher Zeit die Lösungscoëfficienten in die Höhe.

Die soeben beschriebenen Verhältnisse müssen bei der Frage über die Absorption der CO_2 sowohl durch das Serum als durch die Blutkörperchen offenbar in erster Linie berücksichtigt werden, da die CO_2-bindenden Stoffe des Blutes seines bekannten Alkaligehaltes wegen doch am ehesten als salz-

* Seit den calorimetrischen Untersuchungen von Berthelot und Louguinine an den Phosphaten (Ann. de Ch. et de Ph., 5-me Série T. IX pp. 23—43) wird, glaube ich, niemand mehr daran zweifeln, dass die Fernet'sche Reaction in dem angegebenen Sinne interpretirt werden muss.

artige Verbindungen zu betrachten sind, und als solche die Kohlensäure entweder nach der einen oder nach der anderen Art binden müssen.

6. Jetzt lasse ich die Absorptionsversuche am Serum folgen. In denjenigen von ihnen, welche das Verhältniss zwischen der Alkalescenz der Flüssigkeit und deren chemischen Bindungsgrössen anzugeben bestimmt sind, wurde das Serum vollständig entgast und in diesem Zustande mit SH_2O_4 titrirt. Die Alkalescenz ist in gr. CNa_2O_3 auf 100 ccm. Serum angegeben. Die erwarteten chemischen Bindungsgrössen sind ebenfalls auf 100 ccm Serum berechnet und zwar in der Voraussetzung, als geschähe die Absorption im Sinne der Umwandlung von CNa_2O_3 in $CNaHO_3$. Hinsichtlich des Vers. 16 habe ich zu bemerken, dass in demselben das Serum mittels Gefrierens und theilweisen Aufthauens concentrirt war. In Bezug auf die paarigen Versuche 25—29 muss endlich bemerkt werden, dass in jedem einzelnen dieser Versuche beide Bestimmungen an einem und demselben Serum angestellt waren, und zwar wurden überall nach geschehener Absorption bei 37°—37,5° C. alle Theile des Absorptiometers auf 17° C. abgekühlt und die zweite Absorption sogleich vorgenommen.

Sämmtliche V (Vol. d. Flüss.), A (totale Absorptionsgrössen) und VX (totale chem. Bindungsgrössen) sind in ccm angegeben. In allen bei t= =15,2° C. angestellten Versuchen diente zur Ausrechnung der Werthe von VX der Lösungscoëfficient=0,99: in allen übrigen derjenige des Wassers für die entsprechende Temperatur, multiplicirt mit 0,99. Unter Y sind in allen 3-gliedrigen Versuchen die aus den totalen Absorptionsgrössen ausgerechneten Lösungscoëfficienten zu verstehen.

Tab. II.

Verschiedene Stärke des Auspumpens und Alkalescenz.

№	Alkal.	V	t	p	A	Y	VX	Chem. Bind. auf 100 ccm Ser.			Bes. Bemerk.
9	0,173	45,65	15,2°C.	598,28	38,848	0,99	11,8	Erw.:	27,8	ccm	Kalbser., unvollst. ausgep.
				679,57	42,524	1,004	11,8	Erh.:	25,84	»	
				830,48	49,441		11,8				
10	0,190	50,179	15,2°C.	507,16	40,848	0,99	15,65	Erw.:	30,47	»	Kalbserum vollst. ausgep.
				682,70	49,604		15,69	Erh.:	31,3	»	
11	0,177	53,05	16,6°C.	574,60	40,912	0,789	11,25	Erw.:	28,4	»	Pferdeserum, unvollst. ausgep.
				657,36	44,383	1,11	11,33	Erh.:	20,4	»	
				799,28	52,808		11,41				
				69,34	10,521	0,96	7,0	Erh.:	13,2	»	
12		50,179	15,2°C.	519,76	41,217	0,98	15,39		30,7	»	Pferdeser., vollst. ausgep.
				734,50	51,842		15,35				
1		45,21	15,2°C.	39,92	12,827	0,99	10,84		21,6	»	Hundeserum, unvollst. ausgep.
				622,78	37,148	0,99	9,13				
				724,71	41,772	0,99	9,16		20,3	»	
				876,73	48,652		9,20				
13	0,134	50,179	15,2°C.	506,42	37,011	1,01	11,85	Erw.	21,5	»	Vollst. ausg. Ser. eines mit Fleisch gefütt. Hundes.
				684,95	46,086		12,06	Erh.	24,0	»	

Einfluss der Concentration.

				597,62	37,045	0,977	10,15				
			15,2°C.	676,41	40,560	0,986	10,11		22,16	»	Pferdeserum.
				790,13	45,678		10,13				

№	V	t	p	A	Y	VX	Chem. Bind. auf 100 ccm Ser.		Bes. Bemerk.
14	45,62								
			617,13	34,514?	0,414?	6,74(?)			Dasselbe Ser. mit
		»	676,51	35,637	0,999	5,19	11,5	»	H_2O Vol. auf
			793,92	40,991		5,27			Vol. verdünnt.
					9				
		15,2°C.	17,21	7,730	0,99	6,87	13,7	ccm	Kalbserum.
15	50,179								
		»	22,94	6,131	1,01	4,97	9,9	»	1 Vol. desselb. Ser.—1 Vol. H_2O.
			533,15	40,334		18,15			
16	41,93	15,2°C.	621,91	44,011	0,989	18,14	43,2	»	Mittelst Gefrier. con-
			777,03	50,471	0,99	18,15			centr. Pferdeserum.
			Einfluss des Druckes.						
			345,18	33,030		14,91			
17	53,05	15,2°C.	372,11	34,643	1,12	15,11	28,4	ccm	Kalbserum.
			417,99	36,983	0,96	15,04			
			564,41	44,688		15,06			
18	»	»	641,42	48,879	1,02	15,21	28,9	»	Dasselbe Ser. 24 St. später.
			791,83	56,951	1,00	15,38			
			574,82	35,863		10,00			
19	45,21	15,2°C.	680,55	40,884	1,05	10,26	22,47	»	Hundeserum.
			814,70	46,809	0,977	10,15			
20	»	»	230,44	17,955	0,99	7,91	17,5	»	Dasselbe Ser. 24 St. später.
			576,24	42,574		12,32			
21	53,05	15,2°C.	680,66	48,509	1,06	12,78	24,1	»	Kalbserum.
			818,81	55,846	0,99	12,86			
22	»	»	32,76	10,934	0,99	9,21	17,3	»	Dasselbe Ser. 24 St. später.
			622,78	37,148		9,13			
1	45,21	15,2°C.	724,71	41,772	0,99	9,16	20,3	»	Hundeserum.
			876,73	48,652	0,99	9,20			
23	»	»	24,59	6,086	0,99	4,98	11,0	»	Dasselbe Ser. 24 St. später.
24	»	»	41,65	8,638	»	6,76	14,9	»	Dasselbe Ser. 72 St. später.
			Einfluss der Temperatur.						
25	50,179	37°—37,5°C.	98,32	8,542	0,56	5,8	11	ccm.	Hundeserum 6 Tage im
		17°C.	73,91	10,012	0,95	6,5	13	»	Eis. Vollst. ausgep.
26	50,179	37°—37,5°C.	123,37	10,920	0,56	7,4	14	»	Frisches Hundeserum.
		17°C.	94,10	12,880	0,95	8,4	16	»	Vollständig ausgep.
27	50,179	37°—37,5°C.	86,06	10,134	0,56	7,7	15	»	Frisches Hundeserum.
		17°C.	59,47	11,738	0,95	8,9	17	»	Vollständig ausgep.
28	50,179	37°—37,5°C.	59,26	8,719	0,56	7,0	14,0	»	Frisches Hundeserum.
		17°C.	44,14	9,585	0,95	7,7	15,5	»	Vollständig ausgep.
29	»	37°—37,5°C.	55,14	8,684	0,56	7,0	14	»	Dasselbe Ser. 24 St. später.
30	»	42°C.	54,03	6,636					

7. Die aus den Versuchen dieser Tabelle sich ergebenden Schlüsse lassen sich in folgenden Sätzen ausdrücken:

a) der absorptiometrische Charakter des Serums hängt nicht davon ab, ob die Flüssigkeit vollständig oder unvollständig ausgepumpt war;

b) alle 3 Serumarten binden die Kohlensäure in variablen Mengen, abhängig vom Druck und von der Temperatur, und zwar ist die Abhängigkeit vom ersteren desto stärker ausgesprochen, je niedriger die CO_2-Spannung ist, bei welcher die Absorption geschieht;

c) schon bei mittleren Druckhöhen erreichen die chemischen Bindungsgrössen beinahe ihren maximalen Werth, indem sie von nun an ziemlich constant bleiben;

d) dasselbe äussert sich in den Effecten der Verdünnung des Serums mit Wasser: da, wo die chemischen Bindungsgrössen ihren maximalen Werth nicht erreicht haben, wird die chemische Absorption von CO_2 durch Wasserzusatze begünstigt (Versuche 14 und 15): da wo diese Grenze erreicht ist, übt Verdünnung des Serums mit Wasser keinen Einfluss aus—die relative Starke der CO_2-Bindung bleibt alsdann dem Verdünnungsgrade proportional.

e) Das Serum bindet die CO_2 offenbar vermöge seiner Alkalien, und zwar annähernd im Verhältnisse von 1 CO_2 auf 1 Akali bei maximaler Absorption.

Weitere nicht minder wichtige Schlüsse lassen sich durch die Zusammenstellung der Absorptionserscheinungen am Serum mit denjenigen an CNa_2O_3-und PNa_2HO_4-Lösungen meiner früheren Versuche mit Salzen erhalten. Zur besseren Uebersicht der Verhältnisse erlaube ich mir einige von den letzteren mit Hinzufügung neuer Versuche (№№ 31—35) hier anzuführen.

Tab. II a

№	Alkaligeh. in %	Erwart. chem. Bind.	V	t	p	A	Y	VX	
					CNa_2O_2-Lösungen.				
	0,141 gr.	10,26 ccm	45,62	15,2°C.	129,54	16,151	1,01	10,18	ccm
					138,44	16,482		10,10	»
					356,48	26,497		10,07	»
b	»	»	»	»	407,50	28,999	»	10,22	»
					427,50	29,969		10,30	»
					497,05	30,907		8,0	»
c	»	»	»	»	553,90	35,593	»	10,07	»
					608,91	38,285		10,23	»
					605,99	37,888		9,96	»
d	»	»	»	»	723,29	43,347	»	9,98	»
					845,98	49,165		10,19	»
31			50,179	15,2°C.	73,66	13,128	1,01	9,39	»
					466,54	32,881		9,24	»
32			»	»	524,64	35,745	»	9,15	»
					607,67	50,122		9,33	»
33			50,179	»	540,06	41,015	1,01	13,64	»
					719,59	50,004		13,53	»
34			»	»	28,69	14,409	»	12,95	»
					PNa_2HO_4-Lösungen.				
					588,10	41,043		14,0	ccm
e	0,785	17 ccm	45,62	15,2°C.	670,19	44,937	1,01	14,05	»
					751,09	48,758		14,15	»
					833,18	52,820		14,43	»
f	»	»	»	»	317,66	27,959	»	13,33	»
					379,00	31,307		13,85	»
					515,31	37,576		12,49	»
				15,2°C.	590,10	41,592	1,01	12,87	»
					719,15	48,057		13,05	»
35			50,179						
				»	180,15	19,483	»	10,74	»

Die chemische Absorption der CO_2 durch CNa_2O_3-Lösungen entspricht bekanntlich der Umwandlung des neutralen Salzes in das saure und diese Reaction dauert, wie man sieht, bei 70 mm CO_2-Spannung noch ungestört fort; erst in der Nähe von 25 mm Spannung beginnt dieselbe zu sinken. Am Serum beobachtet man hingegen eine deutliche Abnahme der chemischen Bindungsgrösse schon bei einer Schwankung des Druckes von 574 mm auf 230 mm (Vers. 19 u. 20).

f) Das Serum bindet somit die Kohlensäure bei weitem nicht so energisch wie CNa_2O_3*-Lösungen.*

Stellt man andererseits die Versuche am Serum mit denjenigen am PNa_2HO_4 zusammen, so erweist sich die Aehnlichkeit zwischen ihnen so gross, als wären beide fast an einer und derselben Substanz angestellt. Folglich

g) entspricht die Energie der CO_2*-Bindung durch das Serum annähernd derjenigen einer schwachen* PNa_2HO_4*-Lösung.*

8. Von allen diesen Ergebnissen ist die Thatsache, dass das Serum die Kohlensäure abhängig vom Drucke bindet, unstreitig die wichtigste; auch ist sie diejenige, die am allerersten einer Erklärung bedarf.

Der Weg zu einer solchen Erklärung ist bekanntlich durch die sinnreichende von Sertoli angebahnt, nach welcher die Eiweissstoffe des Serums und namentlich seine Globuline sich gegen die Alkalien nach Art schwacher Säuren verhalten müssen. Als solche würden sie nach ihm um die Base mit CO_2 verschiedener Spannung rivalisiren und zwar mit einem entgegengesetzten Erfolge: bei schwachen CO_2-Lösungen würden sie die Kohlensäure aus ihren Verbindungen mit Alkali austreiben, bei stärkeren umgekehrt.

In mehr allgemeiner Form auf unsere Absorptionserscheinungen übertragen, würde diese von Sertoli nur ausgesprochene keineswegs experimentell bewiesene Idee so lauten:

es müssen im Serum Stoffe vorhanden sein, welche das chemische Absorptionsvermögen der Serumalkalien bei niedrigen Spannungen von CO_2 *beeinträchtigen und diese Stoffe müssen offenbar unter den organischen Bestandtheilen des Serums gesucht werden, da* CNa_2O_3 *die* CO_2 *unabhängig vom Drucke bindet und* PNa_2HO_4 *in zu geringen Mengen enthalten ist.*

Alles was weiter bis zum § 19 folgt, ist nichts als eine experimentelle Entwickelung dieser Idee.

Zunächst war es zu prüfen, ob das von den CNa_2O_3-Lösungen abweichende Verhalten des Serums zu CO_2 nicht etwa von dem colloidalen Charakter der Flüssigkeit abhängt, ob es mit anderen Worten nicht durch rein physikalische Momente bedingt ist. Wie unwahrscheinlich dieses auch war in Angesicht der Lösungsverhältnisse der CO_2 im Serum, die Sache musste dennoch geprüft werden, da wir bis jetzt keine Absorptionsversuche an den colloidalen Flüssigkeiten besitzen. Hierauf war zu enscheiden, ob die fragliche Erscheinung nicht etwa durch die Entstehung einer schwachen Säure während des Auspumpens des Serums vor der Absorption bedingt ist (Zuntz), da man bei dieser Operation genöthigt ist, das Serum manchmal über $^1/_2$ Stunde bei 35°—40°C. zu digeriren.

Erst nachdem diese zwei Möglichkeiten beseitigt waren, konnte man sicher sein, dass die die CO_2-Absorption bei niedrigen Spannungen beein-

trächtigenden Stoffe zu den normalen Bestandtheilen des Serums gehören und dass ihre Wirkung auf die Alkalien chemischer Natur sein muss.

Nun entstand die Frage, welche Stoffe des Serums auf diese Eigenschaft zu prüfen sind und in welcher Weise die Prüfung geschehen soll.

In erster Beziehung wich ich von der Idee Sertoli's insofern ab, als ich ausser Eiweissstoffen noch andere Bestandtheile des Serums auf ihr Verhalten gegen die Alkalien geprüft habe und zwar alle diejenigen, welche im Serum in grösseren Mengen vorkommen und mit Alkalien vermuthlich reagiren können.

Am meisten habe ich mich mit der Wahl des Alkali geplagt. Da der Zustand der Alkalien im ausgepumpten Serum eigentlich unbekannt ist, so hielt ich anfangs für unentbehrlich, alle die zu untersuchenden Bestandtheile des Serums sowohl mit Aetznatron als mit CNa_2O_3 zu mischen und Gemische beider Art absorptiometrisch zu prüfen. Nach vielen fruchtlosen Versuchen sah ich jedoch ein, dass es zu riskant ist, Aetznatron für die Absorptionsversuche mit CO_2 anzuwenden, weil es zu gierig die Kohlensäure aus der Luft anzieht. Aus diesem Grunde sind alle weiter anzuführenden Versuche nur an den Gemischen der Serumbestandtheile mit CNa_2O_3 angestellt. Es entstand übrigens hieraus kein Nachtheil für die Versuche.

9. Um die Frage zu entscheiden, ob der colloidale Charakter des Serums irgend welchen Einfluss auf die Absorption von CO_2 ausübt, hatte ich ein Mittel zu finden, den colloidalen Charakter im Serum zu verstärken ohne die qualitative Zusammensetzung des letzteren zu ändern. Es gelang mir dieses mittelst des Gefrierens und theilweisen Aufthauens eines sehr reinen Pferdeserums zu erreichen, indem ich auf diese Weise eine sehr dicke zähe Flüssigkeit erhielt. Wäre nun unsere Voraussetzung richtig gewesen, so müsste in einem Absorptionsversuche mit solcher Flüssigkeit (Nr 16 in der Tab. II) die Abhängigkeit der chemischen Bindungsgrössen von dem Drucke sogar bei mittleren Druckhöhen sich kundgeben; dieses ist aber, wie man sieht, nicht der Fall.

Gegen die Möglichkeit, die fragliche Erscheinung auf die Entstehung einer schwachen Säure bei dem Auspumpen zurückzuführen, sprechen alle in der Tab. II angeführten alkalimetrischen Bestimmungen am Serum (um so mehr, als man bekanntlich bei Titrirung des Serums etwas zu niedrige Werthe für seine Alkalescenz erhält), wenn man dieselben mit den Serumaschenanalysen zusammenstellt. Wird nämlich die Alkalescenz des Serums in den Vers. 9, 10, 11 u. 13 auf Na_2O bezogen, so erhält man in

100 ccm.	Pferdeserum	0,1035 gr.	Na_2O
»	Kalbserum	0,1052 »	»
»	Hundeserum	0,0783 »	»

Consultirt man andererseits die Aschenanalysen von Bunge[1], so erweisen sich in

		K_2O	Na_2O	Cl	Ueberschüss. Na_2O*
100 gr.	Pferdeserum	0,027 gr.	0,443 gr.	0,375 gr.;	oder 0,1155 gr.
»	Rinderserum	0,025 »	0,435 »	0,3717 »;	0,1105 »
»	Hundeserum	0,0202 »	0,4341 »	0,3961 »;	0,08814 »

[1] Zeitschr. für Biol. XII.

* Die Zahlen für das überschüssige Na_2O müssten sogar etwas kleiner ausfallen, weil ein Theil Na_2O als Sulfat aus der Rechnung kommen sollte.

Das von mir untersuchte Serum enthielt mit anderen Worten beinahe 0,9 der erforderlichen Alkalimenge. Wäre nun auch die ganze fehlende Quantität des Natrons (ungefähr 0,01 gr. auf 100 ccm Serum) an die Zuntz'sche Säure gebunden, so würde das Salz dennoch keinen Einfluss auf den absorptiometrischen Charakter der Flüssigkeit ausüben konnen.

10. Von den organischen Stoffen des Serums wurden von mir folgende ntersucht: Fette, Lecithin, Farbstoffe (im Serum des Kalb- und Pferde- utes), Paraglobulin und Serumeiweiss[1]. Diejenigen von ihnen, welche entweder im reinen Zustande, oder wenigstens in Gemischen mit CNa_2O_3 sich im Wasser auflösen, wurden zur Prüfung ihres Verhaltens gegen CNa_2O_3 rein dargestellt. Die anderen dagegen, welche im isolirten Zustande weder im reinen noch CNa_2O_3-haltigen Wasser löslich sind, konnten offenbar nur in ihren natürlichen Verbindungen untersucht werden, und zwar nachdem aus dem Serum alle anderen mit CNa_2O_3 reagirenden Stoffe entfernt waren. Dementsprechend war ich genöthigt, folgenden allgemeinen Weg einzuschlagen:

1) Zuerst wird das Serum durch die Dialyse von seinen Alkalien,—hierauf

2) das dialysirte Serum mittelst CO_2-Strom von einem Theile seiner Globuline befreit; hernach

3) wird die Flüssigkeit ausgepumpt, um CO_2 zu entfernen (der Grund hiervon siehe unten sub 4) und mit gewöhnlichem Aether mehrmals im Laufe von 24 Stunden extrahirt.

Das auf diese Weise von Fetten und Cholesterin befreite Serum kann zur Reindarstellung der Farbstoffe benutzt werden.

4) Letztere lassen sich, wie ich gefunden habe, am *zweckmässigsten* (siehe unten den § 14) durch Sättigung des Serums mit CO_2 und nachherige Behandlung desselben mit gewöhnlichem Aether extrahiren (wobei die Operation mehrmals zu wiederholen ist); oder durch Sättigung des Serums mit $MgSO_4$ und nachherige Behandlung mit Aether.

5) Hierdurch erhält man, wenn die Operation zu Ende ist, nebst gefärbter aetherischer Lösung oben, eine Art Emulsion des Aethers mit Eiweissstoffen als mittlere Schicht, und ganz unten das Serumeiweiss in flüssiger Form.

Diese Reihe von Operationen lässt sich natürlich abkürzen, wenn es sich um die Reindarstellung dieses oder jenes von den genannten Stoffen handelt. So wird z. B. das Dialysiren des Serums unnöthig, wenn man Paraglobulin (mittelst CO_2 oder $MgSO_4$), Fette oder Pigmente im Einzelnen erhalten will. Nur für die Reindarstellung des Serumeiweisses ist die Dialyse unumgänlich nöthig, Fette und Pigmente können aber alsdann zu gleicher Zeit entfernt werden.

Die angeführte Reihe von Operationen lässt sich andererseits an jedem einzelnen der bezeichneten 5 Punkte abbrechen; man erhält alsdann der Reihe nach folgende Serumderivate:

---

[1] Das Serum enthält allerdings noch andere Stoffe, welche möglicherweise an der uns beschäftigenden Erscheinung teilnehmen (so z. B. die milch-, harn- und hippursauren Salze), aber in so geringen Quantitäten, dass ich mich vollkommen berechtigt fühlte, keine Versuche mit denselben anzustellen. Vom Harnstoff weiss ich aus Paar Probeversuchen, dass er sogar in ziemlich concentrirten Lösungen die CO_2 nach dem Dalton'schen Gesetze absorbirt.

1) Serum—Alkalien=Serumeiweiss+Globuline+Fette+Pigmente
2) Serum—Alkalien—Globuline=Serumeiweiss+Fette+Pigmente
3) Serum—Alkalien—Globuline—Fette= Serumeiweiss+Pigmente.
4) Serum—Alkalien—Globuline—Fette—Pigmente=Serumeiweiss.

Combinirt man endlich das Studium verschiedener Serumderivate mit demjenigen einzelner Bestandtheile des Serums in Bezug auf ihr Verhalten gegen CNa_2O_3, so erhält man die Möglichkeit, die Rolle auch derjenigen Stoffe in der chemischen Absorption von CO_2 zu beurtheilen, welche im isolirten Zustande sich wegen ihrer Unlöslichkeit als unwirksam erweisen.

Demnach zerfallen die nächstfolgenden Versuche in 2 Reihen: in der ersten werden einzelne Bestandtheile des Serums auf ihr Verhalten gegen CNa_2O_3 geprüft; in der zweiten das in verschiedenen Graden von seinen einzelnen Bestandtheilen befreite Serum.

11. Was die Versuchsformen an den Gemischen der Stoffe mit CNa_2O_3 anbelangt, so sind deren 3, entsprechend den nächstfolgenden drei Betrachtungen.

Eine Substanz wirkt auf CNa_2O_3 als schwache Säure (oder giebt durch ihre Reaction mit CNa_2O_3 Veranlassung zur Bildung eines Natronsalzes mit schwacher Säure, wie es mit Fetten und Lecithin der Fall ist), wenn sie mit demselben gemischt und im Vacuo ausgekocht die chemische Absorption von CO_2 abhängig vom Drucke macht. Die Säure ist desto schwächer, je niedriger die CO_2-Spannungen liegen, bei welchen die chemische Bindung von CO_2 gegen die Erfordernisse der Bicarbonatbildung zurückbleibt und umgekehrt.

Mit doppeltkohlensaurem Natron gemischt und im Vacuo ausgekocht, muss der fragliche schwach-saure Körper die Entweichung von CO_2 begünstigen. Deshalb müssen solche Gemische, nachdem sie ausgepumpt sind, unter übrigen gleichen Bedingungen, mehr CO_2 chemisch absorbiren als reine ebenso stark ausgepumpte $CNaHO_3$-Lösungen.

Eine Substanz wirkt als schwache Säure, wenn ihre Gemische mit CNa_2O_3 im Vacuo CO_2 entwickeln (die bekannte Pflüger'sche Reaction des Haemoglobins mit CNa_2O_3).

Bei der grossen Uebung, die ich in den Absorptionsversuchen erlangt habe, war für mich die erste Form die bequemlichere; auch halte ich sie für die empfindlichste von allen, weil man bei meiner absorptiometrischen Methode Schwankungen der chemischen Bindungsgrössen um Bruchtheile eines Cubiccentimeters noch mit Sicherheit beobachtet. Bei diesem Verfahren wird die zu untersuchende Substanz mit abgemessenen Mengen einer titrirten oder absorptiometrisch geprüften CNa_2O_3-Lösung gemischt, und zwar in solchem Verhältnisse, dass der Procentgehalt des Natronsalzes in der Mischung kleiner wäre als derjenige im Serum. Ich glaube nämlich, dass es in Bezug auf die Wirkung schwach-saurer Körper nicht gleichgiltig ist, ob man schwächere oder concentrirtere Lösungen von CNa_2O_3 anwendet, da die mit einem Freiwerden der CO_2 während des Auspumpens der Flüssigkeit (vor der Absorption) erfolgende Zersetzung von CNa_2O_3 durch den fraglichen sauren Körper gewiss desto schwerer zu Stande kommt, je alkalischer die Mischung reagirt, je stärker sie mit anderen Worten die abgespaltene CO_2 zurückhält. In den meisten Fällen ist eine einzige absorptiomet-

rische Bestimmung bei neidriger CO_2-Spannung (25—75 mm) schon genügend, um die Frage zu entschieden.

Das zweite Verfahren ist umständlicher, insofern man hier mit 2 Flüssigkeiten zu thun hat: mit CNa_2O_3-Lösung allein und seinem Gemische mit der zu prüfenden Substanz. Beide Flüssigkeiten müssen unter vollkommen gleichen Bedingungen erst mit CO_2 gesättigt [um CNa_2O_3 in $CNaHO_3$ umzuwandeln), hernach ausgepumpt werden. Die hierauf folgenden Absorptionsversuche ist es zweckmässiger bei höheren als bei niedrigeren CO_2-Spannungen anzustellen, weil sie zum Zwecke haben, diejenigen CO_2-Mengen zu bestimmen, welche bei dem Auspumpen entwichen sind. Dieses Verfahrens bediente ich mich entweder nur als eines Bestätigungsmittels für die Ergebnisse des vorherigen, wenn die Schwankungen der chemischen Bindungsgrössen zu unbedeutend waren, oder in Fällen, wo der untersuchte Körper aus seinen Gemischen mit CNa_2O_3 bei der Absorption von CO_2 herausfällt.

Des dritten von Fflüger begründeten Verfahrens, den zu untersuchenden Körper mit CNa_2O_3 im Vacuo einer Blutpumpe auszukochen, konnte ich mich in der von ihm angegebenen Form nicht bedienen, weil unser Laboratorium keine starke Pumpe besitzt. Aus diesem Grunde war ich genöthigt,einen eigens für diesen Zweck eingerichteten Apparat zu construiren.

Derselbe besteht (Fig. I) aus 2 mit Kautschukpfropfen luftdicht verschliessbaren Recipienten *A* (für CNa_2O_3-Lösung) und *B* (für die zu untersuchende Flüssigkeit), welche durch ein in *b* verschliessbares Heberrohr *a b c* unter einander—und durch eine mit Kugeln versehene Röhrenleitung *d e f g h h* mit 2 dreihalsigen Wulff'schen Flaschen *D D* communiciren. Die in die letzteren hineinragenden freien Enden *h h* der Röhrenleitung sind capillär zugespitzt und tauchen in das die Gefässe *D D* füllende Barythwasser. Der weitere Weg aus den Wulff'schen Flaschen geht durch die Tabulatur *i k l m* in den Exsiccator *E* und von hier durch *n o p* zu der gewöhnlichen Luftpumpe. Ausser dieser Hauptleitung, welche in den Punkten *o*, *q*, *r*, *s*, *t*, *u*, *v* mittelst Klemmen unterbrochen werden kann, giebt es noch eine Nebenleitung zu der Pumpe von α über β nach *p*. Beide Wege können in *o* und β von einander abgesperrt werden und haben verschiedene Bestimmung: der Hauptweg dient zur Leitung der Gase aus den Recipienten *A* und *B* durch das Barythwasser;—die Nebenleitung zur Evacuation der Luft aus dem hinteren Theile des Apparates, wenn die Flaschen *D D* in *s* und *t* abgesperrt sind. Weiter communicirt die Hauptleitung in γ durch einen nach unten gerichteten mit einer Kugel (zur Ansammlung der Wasserdämpfe) versehenen und in σ abschliessbaren Fortsatz mit der Flasche *C*, welche mit Kalilösung gefüllt ist. Dieser Ansatz ist bestimmt, den ganzen Apparat in jedem beliebigen Augenblick mit CO_2-freier Luft zu füllen. Endlich habe ich noch der starken Ausbiegung nach oben des Leitungsrohres vor dem Exsiccator zu erwähnen. Dieselbe ist bestimmt, das Barythwasser von den Rückstössen aus dem Exsiccator zu schützen, wenn das Auspumpen aus irgend welchem Grunde für einige Augenblicke ausgesetzt werden muss. Die Erhebung des mittleren Theiles der Hauptleitung über das Niveau des Barythwassers hat denselben Sinn in Bezug auf die Rückstösse aus den Barythflaschen. Die Reinigung der Röhrenleitung nach Beendigung des Versuches geschieht

durch die obere Oeffnung des Fortsatzes α, welche während des Versuches natürlich verschlossen bleibt.

Dem Versuche geht die Füllung der Flaschen *D D* mit Barythlösung voran. Zu dem Ende wird der Hauptweg sowohl von der Nebenleitung (in β) als von den beiden Recipienten (in *u* und *v*) abgesperrt; die Wulff'schen Flaschen mit ausgekochtem noch heissem destillirtem Wasser gefüllt und das Auspumpen vorgenommen. Das Kochen des heissen Wassers im Laufe von einigen Minuten ist genügend. Hierauf wird der Apparat von *C* aus mit CO_2-freier Luft gefüllt; die ein- und ausführenden Röhren der beiden Wulff'schen Flaschen in *q*, *r*, *s*, *t* von den übrigen Theilen des Apparates abgesperrt und die Flaschen eine nach der andern für so viel Zeit geöffnet als es nöthig ist, um einige Barythkrystalle in dieselben zu werfen. Nun werden die mit schon vorher ausgekochten Flüssigkeiten gefüllten Recipienten in ihre durch die Zeichnung angezeigte Lage gebracht; die Nebenleitung eröffnet, der Hauptweg hingegen von der Pumpe (in *o*) abgesperrt und der ganze hintere Theil des Apparates von der darin enthaltenen athmosphärischen Luft evacuirt. Nach Beendigung dieser Operation, während welcher die beiden Flüssigkeiten einige Zeit kochen müssen, wird CO_2-freie Luft eingelassen; und nun beginnt der eigentliche Versuch.

Derselbe besteht darin, dass man zuerst die zu untersuchende Flüssigkeit allein kochen lässt und die sich aus ihr entwickelnden Gase durch die eine von den Barythflaschen leitet (die andere muss während dieser Zeit abgesperrt bleiben); hierauf einen Theil der CNa_2O_3-Lösung von *A* nach *B* überfliessen lässt und die beim Kochen der Mischung sich bildenden Gase durch die andere Flasche streichen lässt. Dauert das Kochen in beiden Fällen gleich lang und wirkt der untersuchte Körper auf CNa_2O_3 zersetzend, so muss natürlich die Barythlösung in der zweiten Flasche sich mehr trüben, sonst bekommt man eher das Umgekehrte, weil die Mischung alkalischer reagirt. Während dieses Kochens leistet der Ansatz *C* ganz vorzugliche Dienste, indem durch das Einlassen der Luft erstens dem Vordringen des Schaumes jenseits von *f* vorgebeugt wird, zweitens das Innere des Apparates mit einem CO_2-freiem Gase ausgespült wird, weshalb auch die kleinsten Mengen von CO_2 dem Barythwasser nicht entgehen.

Bei der grossen Empfindlichkeit des Barythwassers gegen CO_2 ist es sehr schwer, die zu untersuchende Flüssigkeit absolut CO_2-frei zu machen, deshalb trübt sich die Barythlösung auch in der ersten Flasche. Andererseits mag die oben beschriebene Bereitung der Barythlösung noch so rasch und vorsichtig gehen, es gelingt selten die Flüssigkeit klar wie Wasser zu bekommen. Folglich gründet sich das Verfahren eigentlich darauf, ob sich die Unterschiede in dem Trübungsgrade zweier Flüssigkeiten fein genug wahrnehmen lassen. Als Antwort darauf mag ein Probeversuch am Pferdeblute mit CNa_2O_3-Lösung angeführt werden. Es wurden 30 ccm ausgepumptes Pferdeblut genommen und $^1/_4$ St. in dem Apparate mit 3 Mal weiderholtem Einlassen von Luft ausgekocht. Nach dem Zusatz von CNa_2O_3 wurde das Gemisch nur 4 Min. ausgekocht und die Luft nur einmal eingelassen; dennoch war die Trübung in der zweiten Flasche in solchem Grade überwiegend, dass ich den Versuch als beendet abbrechen konnte. Ueberhaupt bin ich der Meinung, dass wenn man durch solche Versuche den sauren Charakter eines

Stoffes beweisen will, dieselben keineswegs stundenlang fortgensetzt werden müssen, weil die Chancen (möchte ich sagen) für die zersetzende Einwirkung eines wirklich saueren Stoffes auf CNa_2O_3 in den ersten Augenblicken grösser sind als in den nachfolgenden. Die träge stundenlang dauernde

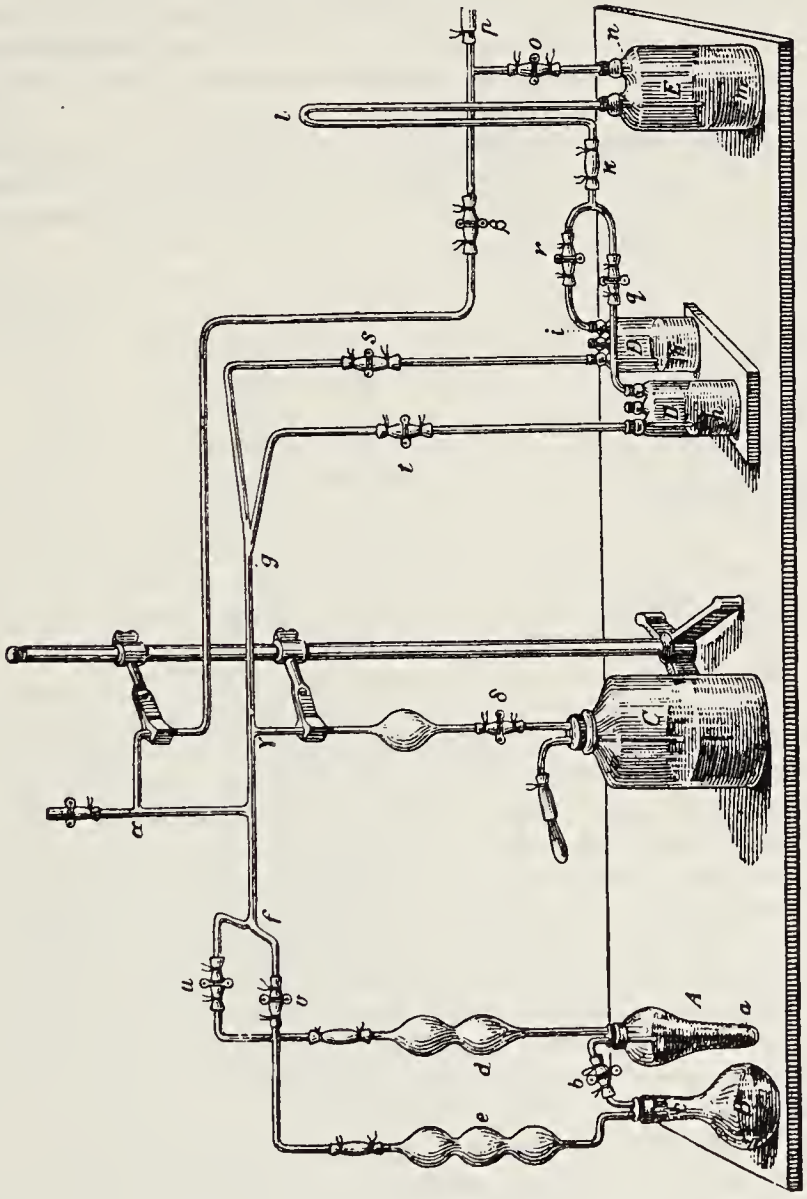


Fig. 1.

Entwickelung von CO_2 würde in solchen Fällen eher auf die Entstehung einer Säure im Gemische oder auf irgend welche ver ickelte Reaction des Stoffes mit CNa_2O_3 als auf die Gegenwart einer präformirten Säure hindeuten.

12. *Versuche an Fetten und Lecithin.* Das Serum enthält stets geringe Mengen von Fetten, welche möglicherweise beim Auskochen

des alkalischen Serums (vor der Absorption) sich in Seifen umwandeln. Lecithin könnte unter diesen Bedingungen ebenfalls mit CNa_2O_3 reagiren und glycerin-phosphorsaures Natron bilden. Sowohl das letztere als die Seifen können schon a priori als Salze mit schwachen Säuren betrachtet werden. Folglich waren beide Stoffe auf ihr Verhalten gegen CNa_2O_3 zu prüfen.

In den gleich anzuführenden Versuchen mit Fetten wurden stets 100 ccm Kalbserum (mit Aether) extrahirt, um die erhaltenen Schwankungen der chemischen Absorptionsgrössen mit den entsprechenden Schwankungen am Serum vergleichbar zu machen.

Mit Lecithin, welches aus den Dottern der Hühnereier dargestellt war, habe ich nur einen einzigen Versuch gemacht, und zwar nur des Systemes wegen, weil seine Mengen im Serum zu gering sind um eine Bedeutung bei der Absorption von CO_2 zu haben.

№	Name d. Subst.	V	t	p	A	y	VX auf 100 ccm Flüssigk.
36	CNa_2O_3-Lös. allein	50,179	15,2°C.	24,10	12,872	1,01	23,3 ccm
37	CNa_2O_3-Lös.+äth. Serumextr.	»	»	20,65	10,371	»	18,6 »
38	CNa_2O_3-Lös.+äth. Serumextr.	»	»	41,61	12,204	»	20,1 »
39	CNa_2O_3-Lös. allein	50,179	15.2°	122,14	12,956	1,01	13,5 ccm.
40	0,092 gr. Lecithin+ CNa_2O_3-Lös.	»	»	56,14	10,678	1,01	15,6 »

Von den Bestimmungen mit Fetten ist besonders der Vers. 38 beweisend, insofern hier das Gemisch die CO_2 bei einem höheren Druck absorbirte als die entsprechende CNa_2O_3-Lösung allein (Vers. 36). Der Vers. 37 zeigt seinerseits, dass der Process der Seifenbildung die der uns beschäftigenden Frag nicht zu verschmähen wäre, wenn derselbe bei dem Auspumpen des Serums stattfinden könnte. Dieses ist jedoch im höchsten Grade unwahrscheinlich, weil die Alkalien des Serums, wie wir später sehen werden, nicht frei sind.

13. *Versuche mit dem Paraglobulin.* Von den Eiweisstoffen des Serums ist Paraglobulin derjenige, den man am leichtesten in sehr reinem Zustande erhalten kann, namentlich wenn es aus einem dialysirten, hierauf von Fetten befreiten und endlich mit Wasser verdünnten Serum durch CO_2-Strom gewonnen wird. Sowohl in dieser als in weniger reiner Form—nämlich wenn er aus 12-fach verdünntem undialysirtem Serum mittels CO_2 gewonnen wird—löst sich der Paraglobulinniederschlag nach dem Auspumpen der CO_2 in der ihm beigemengten Flüssigkeit auf und stellt alsdann eine opalescirende Lösung von deutlich alkalischer Reaction dar. Solche Lösungen verhalten sich wie reines Eiweiss, insofern sie in der Hitze nur nach dem Zusatz neutraler Salze coaguliren. Neutrales kohlensaures Natron macht jedoch hiervon eine Ausnahme, indem seine Gemische mit Paraglobulin auch nach dem Aufkochen flüssig bleiben. Es ist weiter zu beachten, dass wenn man Gemische der Paraglobulinlösungen mit CNa_2O_3 bei 35°—45° im Vacuo auskocht, dieselben bei der Absorption von CO_2 sogar unter niedrigen Spannungen des Gases sich stark trüben, während die bei 80°—100° C. ausgekochten dieses auch bei den stärkeren CO_2-Spannungen nicht mehr (oder in sehr unbedeutendem Grade) zeigen.

Es ist kaum nöthig zu sagen, dass von allen Körpern des Serums Pa-

raglobulin derjenige war, der mich in Bezug auf seine sauren igenschaften am meisten interessiren musste; auch habe ich demselben am meisten Zeit und Mühe gewidmet.

Da die Paraglobulinlösungen gewöhnlich alkalisch reagiren, so war ich genöthigt, erst an denselben allein, ohne sie mit CNa_2O_3 zu mischen, Absorptionsversuche anzustellen. Einen solchen Versuch führe ich mit allen Details als Beispiel an.

Das Paraglobulin wurde aus 300 ccm eines 12-fach mit Wasser verdünnten höchst reinen Kalbserums gewonnen. Die Alkalescenz des Serums auf CNa_2O_3 bezogen betrug in 100 ccm 0,18 gr.; folglich enthielten 3900 ccm Mischung 0,54 gr. und 110 ccm derselben 0,015 gr. CNa_2O_3. Durch vorsichtiges Decantiren der Flüssigkeit, nachdem das Paraglobulin sich abgesetzt hat, gelang es den Niederschlag ohne Verlust zu sammeln. Sein Volumen sammt der ihm beigemengten Flüssigkeit betrug 110 ccm. Nach dem Auspumpen löste er sich in eine opalescirende Flüssigkeit auf, deren Alkalescenz auf alle 110 ccm berechnet 0,024 gr. CNa_2O_3 betrug. Bedenkt man, dass in diesem 110 ccm betragenden Niederschlage der pulverige Theil doch sicher ein messbares Volum einnahm, so ist klar, dass die Alkalescenz der Paraglobulinlösung weniger als zur Hälfte von dem beigemengten Serum herrühren konnte. Nimmt man sie dennoch als von CNa_2O_3 herrührend an, so berechnet sich die erwartete chemische Bindungsgrösse für 50 ccm Paraglobulinlösung gleich 1,75 ccm CO_2 bei 0° und 1 M. Dr.

№	V	t	p	A	y	VX
41	50,179	18,3°	101,95	5,083	0,93	0,32
42	50,179	»	496,70	24,981	»	1,80
			642,95	31,985		1,98

Diese Uebereinstimmung der Resultate mit den Erwartungen zeigt unzweideutig, dass das Paraglobulin die CO_2 vermöge der ihm beigemengten oder in demselben enthaltenen Alkalien chemisch bindet; andererseits deutet die Abhängigkeit der chemischen Bindungsgrössen von dem Drucke unzweifelhaft darauf hin, dass entweder dem Paraglobulin in der That saure Eigenschaften zukommen, oder dass es beim Herausfallen einen alkalisch reagirenden Körper mitreisst, welcher die CO_2 abhängig vom Drucke bindet. Jedenfalls ist dieses Verhalten des Paraglobulins gegen CO_2 für die nächstfolgenden Versuche an seinen Gemischen mit CNa_2O_3 zu notiren.

Von diesen werde ich nur drei (№№ 43, 44 und 45) als Beispiele anführen. In den zwei ersten von ihnen wurde das Paraglobulin aus dialysirtem und hernach mit Wasser verdünntem Kalbserum (100 ccm.) gewonnen, während zu dem dritten (№ 45) ein von Alkalien (mittels Dialyse), Fetten und Pigmenten (die Reinigung von Pigmenten geschah ohne Anwendung fixer Mineralsäuren; siehe hierüber den § 14) befreites Pferdeserum diente. In den 2 ersten Fällen wurden die Gemische vor der Absorption bei 35°—45° C, in dem 3 ten bei 80°—100° C. ausgekocht.

In dem dreigliedrigen Versuche 43 gilt die erste und zweite Bestimmung fur die beiden Constituenten des Gemisches, die dritte fur das Gemisch selbst. Hätte also das Paraglobulin während des Auspumpens des Gemisches CNa_2O_3 auch theilweise zersetzt, so müsste die dritte chemische

№	Name d. Subst.	V	t	p	A	y	VX		Bes. Bemerk.
	CNa_2O_3 allein	50,179	15,2°C.	122,14	12,956	1,01	6,76	ccm	Auskoch. bei
43	Paragl. allein	»	»	92,14	5,452	»	0,78	»	35°—45°C.
	Paragl. + CNa_2O_3	»	»	75,44	11,253	»	7,43	»	
44	CNa_2O_3 allein	50,179	18°C.	94,28	5,226	0,93	0,8	ccm	Auskoch. bei
	Paragl. + CNa_2O_3	»	»	83,51	4,793	»	0,9	»	35°—45°C.
	Paragl. + CNa_2O_3	50,179	15,2°C.	15,99	9,372	1,01	8,562	ccm	Auskoch. bei
45				531,34	37,260	»	10,33	»	80°—100°C.
	»	»	»	734,81	48,087		10,84	»	
				529,52	26,964		0		Auspump. 3′
46	$CNaHO_3$ allein	50,179	15,2°C.	618,80	31,620	1,01	0		bei 35°C. u.
				714,24	36,401		0		schwach.
				514,48	28,108		2,03		Auspump. 5′
47	»	»	»	598,47	32,331	»	2,0		bei 35°C sehr
				682,04	36,625		2,06		energisch.
				502,99	27,098		1,61	ccm	Auspump. 5′
48	$CNaHO_3$ + Paragl.	»	15,2°	585,08	31,159	1,01	1,51	»	bei 35°C, mit-
				667,97	35,405		1,55	»	telmässig.
				486,34	26,325		1,68	»	
49	»	»	»	635,00	33,816	»	1,63	»	»
				516,26	28,280		2,12	»	Auspump. 5′
50	»	»	»	597,55	32,181	»	1.90	»	bei 35°C sehr
				674,55	36,105		1,92	»	energisch.
51	»	»	»	51,83	4,524	1,01	1,90	»	»

Bindungsgrösse kleiner als die Summe der zwei ersten VX ausfallen und wir sehen dies in der That—anstatt 6,76+0,78=7,54 haben wir 7,43 bekommen; der Unterschied ist aber so unbedeutend, dass er in die Grenzen der Versuchsfehler fällt; zudem ist der 3. Absorptionsdruck etwas niedriger als der vorherige, und wir wissen aus den Versuchen 41—42, dass das Paraglobulin allein die CO_2 abhängig vom Drucke bindet.

In dem nächsten Versuche 44 habe ich absichtlich eine höchst schwache Lösung von CNa_2O_3 genommen, um zu sehen, ob das Paraglobulin wenigstens solche geringe Mengen von CNa_2O_3 (zudem in höchst diluirtem Zugtande!) zu bewältigen im Stande ist; aber auch jetzt war die Antwort negativ.

Zu den beiden soeben erwähnten Vers. wurden die Gemische vor der Absorption nur bei 35°—45° C. ausgepumpt und trübten sich bei der Absorption von CO_2 sehr stark; folglich könnte man gegen die Resultate dieser Versuche einwenden, dass sie nur deshalb negativ ausfielen, weil die mit CNa_2O_3 reagirende und als schwache Säure wirkende Substanz bei der Absorption von CO_2 herausfällt und eben dadurch ausser Stand gesetzt wird mit CO_2 zu rivalisiren, Um diesem Einwande entgegenzukommen, wurde der Vers. 45 an einem vorder Absorption im kochenden Wasser ausgepumpten und bei der nachherigen Absorption von CO_2 nur höchst unbedeutend sich trübenden Gemische angestellt. Hier fiel die chemische Bindungsgrösse bei dem Druckintervall 531—734 mm allerdings höher als bei der niedrigen CO_2-Spannung von 15 mm. aus; aber erstens ist dieser Unterschied nicht grösser als derjenige in den Versuchen 41—42 am Paraglobulin allein; zweitens habe ich in der ersten Bestimmung des Vers. 45 in den Absorptiometer etwas zu wenig CO_2 eingeführt (im Ganzen nur 10,352 CO_2, während das Gemisch bei 734 mm 10,84 ccm CO_2 chemisch absorbirte); folglich die Absorptionsgrösse schon dadurch etwas zu klein ausfallen musste. So-

mit waren die Ergebnisse auch dieses Versuches negativer Art, obgleich die zu demsselben verwendeten Paraglobulinmengensehr bedeutend waren (aus 400 ccm unverd. Serum nur 120 ccm Paraglobulinlösung).

In Anbetracht der grossen Wichtigkeit des Stoffes in der Geschichte der uns beschäftigenden Frage habe ich grösserer Sicherheit wegen noch eine neue Reihe von Versuchen an demselben, und zwar nach dem zweiten im § 11 erwähnten Verfahren, unternommen.

Lösungen von doppeltkohlensaurem Natron habe ich durch Sättigung von 20 ccm einer $^1/_{10}$ normalen CNa_2O_3-Lösung mit CO_2 erhalten. Dieselben wurden in den Versuchen 46 und 47 mit 80 ccm Wasser, in den nachfolgenden [NN 48—51] mit 80 ccm ausgepumpter Paraglobulinlösung versetzt. Bedenkt man, dass das Volumen der absorbirenden Flüssigkeit überall 50 scm. betrug, so enthielt letztere in allen Versuchen über 0,05 gr. CNa_2O_3 oder ungefähr 8 ccm. beweglich gebundener CO_2, nachdem die Lösung mit dieser gesättigt war.

Auf Grund dieser ebenfalls negativen (wie man es aus der Tabelle sieht) Resultate hielt ich für überflüssig noch das Pflüger'sche Verfahren in Anwendung zu bringen:—eine Substanz, welche nicht im Stande ist sogar $CNaHO_3$ im Vacuo merklich zu zersetzen, kann natürlich eine solche Fähigkeit in Bezug auf CNa_2O_3 nicht besitzen. Damit ist die Frage entschieden worden: *das aus dem verdünnten Serum mittels* CO_2 *ausscheidbare Paraglobulin verhält sich zum kohlensauren Natron keineswegs als saurer Körper.*

14. Die grünlich-gelben Farbstoffe des Kalb- und Pferdeserums (das Hundeserum habe ich wegen seiner Armuth an diesen Stoffen nicht untersucht) lassen sich bekanntlich aus dem Serum erst nach seiner Ansäuerung extrahiren; folglich ist es sehr leicht dieselben rein oder wenigstens frei von Fett und Cholesterin zu erhalten, indem man das Serum erst ohne Ansäuerung, hierauf im angesäuerten Zustande mit gewöhnlichem Aether behandelt. Durch starke Säuren werden jedoch die Farbstoffe ganz unzweifelhaft angegriffen, deshalb ist diese Darstellungsweise zu verwerfen. Ein sichereres Extractionsmittel für dieselben [aus dem vorher von Fetten und Cholesterin befreiten Serum] bietet das reine Essigaether dar (das käufliche ist meistens ebenfalls tauglich), weil es keiner vorherigen Ansäuerung der Flüssigkeit bedarf. Bei dieser Extractionsweise ist nur folgendes zu beachten: die Volumina des Aethers muss man ungefähr zur Hälfte kleiner als diejenigen des Serums nehmen und die Flüssigkeit höchstens einige Secunden aufschütteln, sonst verwandelt sich leicht die Mischung in eine dicke emulsionsartige Masse, aus welcher die aetherische Schicht sich höchst langsam ausscheidet. Beim Abdampfen des aetherischen Extractes erst auf einem Wasserbade, hierauf in den Uhrgläsern, bekommt man eine reiche Krystallisation von Bilirubin, mit seiner charakteristischen Form, Farbe und nicht minder charakteristischem Verhalten gegen NHO_3. Nebst diesem ist auch das bekannte amorphe goldgelbe Pigment vorhanden.

Leider wird bei diesem Verfahren das von den Farbstoffen befreite Serum wegen seines dicken emulsionsartigen Zustandes nicht mehr brauchbar; deshalb kann diese Extractionsweise nur dann mit Vortheil benutzt werden, wenn es sich um die Gewinnung der Pigmente allein handelt. Hat man hingegen zum Zweck nebst dieser auch das zurückbleibende Serum

in flüssiger Form zu erhalten, so kann man auf zweifache Weise verfahren: die der Extraction (mit gewöhnlichem Aether) der Pigmente vorhergehende Ansäuerung des Serums mit starken Mineralsäuren kann entweder durch die Ansäuerung der Flüssigkeit mit CO_2, oder durch eine Sättigung derselben mit $MgSO_4$ ersetzt werden. In dem ersten von diesen Fällen muss man beide Operationen (Behandlung mit CO_2 und Aether) einige Male wiederholen, wozu dieselben in einem geräumigen und dicht verschliessbaren Scheidetrichter auszuführen sind. Zuletzt kriegt man die Flüssigkeit in 3 Schichten vertheilt, von denen die unterste wässerige, meistens sehr trübe, sich sehr leicht von der mittleren emulsionsartigen scheiden lässt. Die Farbstoffe des dialysirten Serums bedürfen zu ihrer Extraction ebenfalls einer vorherigen Ansäuerung der Flüssigkeit mit CO_2, folglich ist das dialysirte Serum auf dieselbe Weise wie das normale zu behandeln, nur muss man natürlich die Flüssigkeit nach der ersten Sättigung mit CO_2 wenigstens für 24 St. in Eis stellen, damit das durch CO_2 niedergeschlagene Paraglobulin sich herabsctzt. Wählt man hingegen zur Extraction der Farbstoffe und zur Gewinnung des Serumeiweisses in flüssiger Form das zweite Verfahren, so muss das Serum nach der Sättigung mit $MgSO_4$, erst filtrirt, hernach mit Aether behandelt und schliesslich (d. h. die nach der Entfernung der Farbstoffe zurückbleibende Flüssigkeit) dialysirt werden.

Die auf diese oder jene Weise bereiteten Aetherextracte unterscheiden sich äusserlich (unter dem Mikroscop) von denen mittelst Essigaether erhaltenen nicht im geringsten: auch hier hat man nebst Bilirubin die goldgelbe amorphe Masse.

Bei der Schwierigkeit, das unbekannte goldgelbe Pigment in grösseren Mengen zu erhalten, konnte ich natürlich nur diejenigen Eigenschaften der Farbstoffe [und zwar beider zugleich] berücksichtigen, welche in directem Zusammenhange mit der uns beschäftigenden Frage stehen.

Es ist zunächst aus der oben angegebenen Darstellungsweise derselben von selbst ersichtlich, dass ihr normaler aufgelöster Zustand im Serum weder von Fetten und Cholesterin, noch von dem grössten Theile des Paraglobulins und der Alkalien abhängig sein kann. Weiter ist es sehr leicht sich durch Versuche zu überzeugen, dass die Farbstoffe bei ihrer Extraction aus dem Serum irgend welche chemische Umänderung erleiden, insofern nämlich die einmal isolirten Pigmente im normalen Serum nicht mehr löslich sind. Der Grund, warum dieser Umstand als Beweis ihrer chemischen Umänderung gelten muss, liegt darin, dass das Serum beim Concentriren bekanntlich keine Pigmente in fester Form auscheidet, folglich damit nicht gesättigt ist. Ebenso leicht ist es zu zeigen, dass die chemische Umänderung der Farbstoffe nicht etwa durch eine Verbindung derselben mit CO_2 bedingt sein kann. Eine solche Verbindung ist zwar nicht unmöglich, weil das Serum nach der Absorption von CO_2 seine Farbe ganz ebenso wie nach dem Ansäuern mit starken Mineralsäuren ändert; sie müsste aber jedenfalls zu sehr schwachen durch das Kochen im Vacuo zerstörbaren Verbindungen gerechnet werden und als solche könnte sie kaum im Stande sein die Auflösung der isolirten Farbstoffe im Serum zu verhindern, nachdem das Gemisch ausgepumpt ist. Diese Erklärungsweise würde zudem unzureichend sein, da sie weder die Reaction des Serums mit Essigäther noch die Ein-

wirkung von $MgSO_4$ erklären kann. Eine alle 3 Reactionen umfassende Erklärungsweise lässt sich zur Zeit allerdings nicht geben; jedoch kann ich mich der Bemerkung nicht enthalten, dass vielleicht allen dreien folgende gemeinsame Thatsache zu Grunde liegt: Kohlensäure, schwefelsaure Magnesia und Essigäther sind solche Körper, welche die Ausscheidung der sogenannten Globulinsubstanzen aus dem Serum begünstigen oder sogar direckt bedingen [die emulsionsartige Schicht nach dem Schütteln des Serums mit Essigäther ist in der That eine Emulsion des letzteren mit gelatinös ausgeschiedenem Paraglobulin]. Könnte man demnach nicht glauben, dass die durch die Extraction dargestellten Farbstoffe als Spaltungsproducte eines zusammengesetzten globulinartigen, dem Haemoglobulin nicht unähnlichen Stoffes, zu betrachten sind?

Zu Gunsten einer solchen Auffassung kann ich ausser der Undialysirbarkeit des Stoffes noch folgende Thatsache anführen: die Extraction der Farbstoffe aus einem vom Paraglobulin mittelst $MgSO_4$ vollständig befreiten Pferdeserum ist immer mit der Ausscheidung eines gelatinösen farblosen Körpers verbunden, welcher oberhalb der Serumeiweisslösung schwimmen bleibt und unter dem Mikroscope in Form einer körnigen Masse (ohne Myelinformen) erscheint. Da das Serumeiweiss bekanntlich keine Fähigkeit besitzt in Aether zu gelatiniren, während eine solche Fähigkeit einigen Globulinen (z. B. der fibrinogenen Substanz) unzweifelhaft zukommt, so ist Grund vorhanden, diesen in Aether unlösslichen Stoff als Globulin und zugleich als Spaltungsproduct unseres hypothetischen chromogenen Körpers zu betrachten.

Es ist ferner im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die Farbstoffe des Serums in ihrem natürlichen Zustande an Alkali gebunden sind [eine weitere Analogie mit den Globulinsubstanzen der rothen Blutkörperchen!], denn einerseits hält das Serum bei der Dialyse einen Theil der Alkalien nebst der ganzen Menge seiner Farbstoffe hartnäckig zurück, andererseits bedarf auch das dialysirte Serum zur Extraction seiner Pigmente einer Ansäuerung. Was das für ein Alkali ist, liess sich nicht entscheiden, denn Versuche in dieser Richtung an den extrahirten Farbstoffen ergaben lauter negative Resultate: sogar im natronhaltigen Wasser lösen sie sich schwer auf, während ihr normaler Gehalt an Alkali (in gr. Na_2O ausgedrückt) höchstens 0,017 gr. Na_2O auf 100 ccm Serum betragen könnte, denn nur so viel Alcali bleibt durchschnittlich nach meinen Versuchen im dialysirten Serum zurück.

Sicher ist es endlich, dass die Farbstoffe des Serums in ihrem normalen Zustande mit CO_2 reagiren, da frisches unausgepumptes Serum mit Aether geschüttelt denselben stets ein wenig färbt, während das Serum im ausgepumpten Zustande dieses nicht mehr thut.

Schliesslich führe ich einen Versuch an, welcher beweist, dass die isolirten Farbstoffe im Serum unlöslich sind und dass sie in diesem Zustande die Fähigkeit verloren haben, mit CO_2 zu reagiren.

Es wurden 500 ccm Pferdeserum 2 Tage lang mit Aether extrahirt um Fette und Cholesterin zu enfternen, hierauf mit Essigäther behandelt und die bis zur Trockne abgedampften Farbstoffe mit 100 ccm Pferdeserum gemischt. Die Flüssigkeit wurde sogleich gleichmässig trübe, verlor

die Eigenschaft zu schäumen ganz und gar [sogar bei dem Auspumpen] und absorbirte absolut ebensoviel CO_2 wie die andere Portion desselben Pferdeserums, zu der keine Pigmente beigemengt waren.

Name	V	t	p	A	y	VX
Reines Serum	50,179	15,2°	40,53	12,624	0,99	10,61
Serum+Pigm.	»	»	46,76	12,784	»	10,46

Ausser diesen Pigmenten enthält sowohl das Pferde- als das Kalbserum noch einen dritten durch den gewöhnlichen Aether nicht extrahirbaren und deshalb in dem Serumeiweiss zurückbleibenden Farbstoff, welcher dieser Flüssigkeit gelb-braun-röthliches Aussehen verleiht (die röthlichen Töne treten besonders klar hervor, wenn die Flüssigkeit trübe ist). Da diese auch dem Hundeserum eigene Färbung derjenigen schwacher Lösungen des Blutes, im Wasser ähnlich aussieht, so glaubte ich zuerst, dass sie durch eine Verunreinigung des Serums mit rothen Körperchen bedingt ist; da jedoch eine solche Färbung auch in dem reinsten Serum nicht fehlt, so muss ein allen 3 Serumarten gemeinsamer gelb-braun-röthlicher Farbstoff (ein Zerfallsproduct der rothen Körperchen?) zugeschrieben werden, um so mehr, als man nur durch diesen das röthliche Durchschimmern aller 3 Serumarten in dicken Schichten erklären kann. Leider konnte ich diesen Farbstoff wegen seines zu geringen Gehaltes im Serum nicht untersuchen.

Von den übrigen Bestandtheilen des Serum, welche von mir im isolirten Zustande untersucht worden sind, bleibt nur noch das Serumeiweiss; da es aber zu seiner Darstellung eines dialysirten Serums bedarf, so muss erst die Dialyse des Serums besprochen werden.

15. Nachdem die obigen Versuche an dem durch CO_2 fällbaren Paraglobulin die Frage über die Ursache des lockeren Zustandes der chemisch gebundenen CO_2 im Serum unentschieden liessen, erlangte für mich die Dialyse des Serums eine viel grössere Bedeutung als ich ihr anfangs bei der Feststellung des allgemeinen Untersuchungsplanes beilegen konnte. Früher galt für mich diese Operation nur als Mittel, das Serum so viel als möglich von seinen Alkalien ebenso wie von den anderen Crystalloiden zu befreien, um das Serumeiweiss in möglichst reiner Form und noch die Pigmente im aufgelösten Zustande zu erhalten. Nun betrachtete ich dieselbe als das letzte mir übrig gebliebene Spaltungsmittel für den noch unbekannten alkalihaltigen und in Bezug auf die Kohlensäure nach Art eines Salzes mit schwacher Säure wirkenden Körper. Es war nämlich zu erwarten, dass die saure Hälfte des Körpers, insofern sie nur zu den Colloiden gehören konnte, im Dialysator bleiben wird, während die alkalische in's Wasser übergeht. Um desto grössere Befürchtungen musste mir bei dieser Sachlage der Umstand einflössen, dass die Umsetzungen der Serumstoffe bei der Dialyse noch zu wenig bekannt sind und dass diese Operation vileicht gerade in Bezug auf den fraglichen Bestandtheil der CO_2-bindenden Substanzen nicht so unschädlich ist, wie man es z. B. in Bezug auf das Serumeiweiss gewöhnlich annimmt. Hieraus entstanden höchst mühevolle Bemühungen, die Vertheilung der Alkalien und der als schwache Säure wirkenden Stoffe zwischen dem im Dialysator bleibenden Serum und seinem Diffusate zu bestimmen. Erst nachdem ich sehr viele vergleichende absorptiometrische Bestimmun-

gen an beiden Flüssigkeiten und zwar mit verschiedenen Variationen der Bedingungen angestellt habe, gelang es mir endlich den wahren Thatbestand annähernd richtig zu errathen. Die Ergebnisse dieser ausschliesslich am Kalbserum angestellten Vorversuche waren folgende:

1) Dem Serum konnte ich durch eine 48 Stunden bei 0° dauernde Dialyse höchstens $^6/_7$ seiner Alkalien entziehen. Durchschnittlich entsprach die Alkalescenz in 100 ccm Serum nach der Dialyse (mit Correction auf die Vergrösserung des Volumens in Folge der Wasserzunahme) 0,017 gr, Na_2O.

2) Sowohl das dialysirte Serum als das auf dasselbe Volumen concentrirte Diffusat absorbiren die Kohlensäure abhängig vom Druck; die Zeichen der lockeren Bindung von CO_2 sind jedoch an dem letzteren sehr schwach ausgeprägt.

3) Normales Serum bindet die CO_2 unter übrigen gleichen Bedingungen in grösseren Quantitäten als seine beiden Bestandtheile nach der Dialyse zusammengenommen; d. h. die chemische Absorptionsgrösse des normalen Serums ist höher, als diejenige des dialysirten Serums+diejenige des Diffusates, welches durch das Abdampfen [nur in Platinschalen, unter keiner Bedingung in Porcellan- oder Glassgefässen!] auf das Volumen des Serums concentrirt ist.

4) Das Verhältniss kehrt sich um, so wie man in der letzten Summe anstatt des concentrirten Diffusates die Auflösung seiner Asche in einem dem Serum gleichen Volumen Wasser nimmt.

5) Die chemische Absorptionsgrösse der Diffusataschenlösung ist stets etwas geringer als diejenige des entsprechenden normalen Serums.

6) Die überschüssigen Alkalien des Serums erscheinen in der Asche des Diffusates in Form von Carbonaten.

Alle diese Erscheinungen mit Ausnahme des Punktes 4, von dem ich übrigens später reden werde, erklären sich als Folgen eines geringen Austretens der Eiweissstoffe ins Wasser, vielleicht auch der CO_2-bindenden, und einer theils im Serum, theils im Diffusate (und zwar hauptsächlich bei seinem Abdampfen) stattfindenden Entwickelung einer organischen Säure, welche am Ende der Dialyse nur im Diffusate zu finden ist. Die Wirkung dieser Säure auf die Alkalien des Diffusates erklärt die Punkte 3 und 4, ebenso wie das Erscheinen der überschüssigen Alkalien des Serums in der Asche des Diffusates in Form von Carbonaten; und ihre Wirkung auf die ausgetretenen Eiweisstoffe (d. h. die Umwandlung der letzteren in die Acidalbumine) erklärt vielleicht die Thatsache, warum die chemische CO_2-Absorption durch die Diffusate eine geringe Abhängigkeit vom Drucke zeigt. Uebrigens will ich ein geringes Uebertreten der CO_2-bindenden Eiweissstoffe in's Wasser nicht bestreiten.

Was für eine Bedeutung der Säureentwickelung zuzuschreiben ist, weiss ich nicht. Die Thatsache entspricht veilleicht der von Zuntz bei der Digestion des Blutes beobachteten analogen Erscheinung; um so mehr, als die Säuremenge im Diffusate nach meinen Versuchen desto grösser ist, je länger das Abdampfen desselben bei mässiger Temperatur dauert. Sie kann aber möglicherweise auch davon abhängen, dass ich das Serum der säugenden Kälber dialysirte; um so mehr, als die Säure ihrer Stärke nach

nur mit Milchsäure zu parallelisiren ist, da sie das chemische Absorptionsvermögen des Diffusates für CO_2 vollständig vernichten kann.

Zur besseren Orientirung in allen diesen Verhältnissen mag die Beschreibung einiger entscheidender Versuche folgen.

Bei der Dialyse des Kalbserums № 52 liess ich die ganze Menge des Diffusates (über 2000 ccm Flüssigkeit) zwei Tage lang bei 35°—40° im Vacuo abdampfen und stellte einen Absorptionsversuch mit dieser Flüssigkeit an, nachdem sie bis auf 200 ccm concentrirt war. Zu meinem Erstaunen erhielt ich gar keine chemische Bindung von CO_2. Als ich darauf diese bis zum Trockenen abgedampfte Flüssigkeit veraschte und den Rückstand [die Asche der Serumdiffusate stellt immer eine ganz weisse geschmolzene Masse dar] mit einem dem Volumen des angewandten Serums gleichen Volumen Wasser versetzte, so ergab der Absorptionsversuch auf 100 ccm Lösung über 24 ccm chemisch gebundener CO_2;—ein Beweis, dass es sich im Diffusate während seiner Digestion eine organische Säure (höchstwahrscheinlich Milchsäure) gebildet hat, welche die Alkalien vollständig neutralisierte. Ein anderes Mal (Vers. 53) um die Zeit der Digestion des Diffusates möglichst abzukürzen, wurde das letztere durch das Kochen am freien Feuer in einer Platinschale concentrirt; da aber diese Operation zu gleicher Zeit mit der Dialyse ging, musste ich sie ebenso oft unterbrechen, als das Wasser im Dialysator gewechselt wurde. Hier bekam ich auf 100 ccm Diffusat, resp. 100 ccm des angewandten Serums, gegen 6 ccm chemisch gebundener CO_2. Endlich in einem dritten Versuche (№ 54) wurde das in Eis aufbewahrte Diffusat auf einmal, d. h. ohne Unterbrechungen in einer Platinschale am freien Feuer concentrirt. Hier ist die chemische Bindungsgrösse auf 100 ccm Serum gleich 9,6 ccm CO_2 ausgefallen. In diesem Versuche wurde nebst dem concentrirten Diffusate auch die Asche des letzteren, ebenso wie das im Dialysator gebliebene Serum, auf ihr chemisches Absorptionsvermögen untersucht.

№	Name der Substanz.	V	t	p	A	Y	VX auf 100 ccm Serum
52	Kalbserumdiffusat	50,179	15,2°	507,12 580,64 682,17	24,945 28,494 33,545	0,976	0
	Diffusatasche	»	15,2°	453,43 506,50 600,75	34,666 37,353 42,086	0,99	24,28 ccm 24,38 » 24,48 »
53	Kalbserumdiffusat	50,179	15,2°	492,20 637,82	25,663 33,292	0,99	4,84 ccm 6,44 »
	Dialys., von Fett und Cholest. befr. Ser.	50,179	15,2°	72,90	8,052	1,01	8,70 ccm
54	Concent. Diff. desselben Kalbserums	»	»	352,64 440,91	22,227 26,726	0,99	9,42 » 9,64 »
	Diffusatasche	»	»	312,04 383,86	28,661 32,355	0,99	26,32 ccm 26,56 »

Nach Beendigung des Vers. 54 bestimmte ich mittelst $BaCl_2$ annäherend die Menge von Karbonaten (und Phosphaten) in dem löslichen Teile der Asche des Diffusates und erhielt nach Abzug von $SBaO_4$ 0,2995 gr. Niederschlag. Diese Menge als $CBaO_3$ aufgefasst entspricht 0,161 gr. CNa_2O_3 in 100 ccm

Diffusat (oder Serum), welche 25,8 ccm CO_2 chemisch zu binden im Stande sind. Die Uebereinstimmung dieser Zahl mit der beobachteten chemischen Absorptionsgrösse der Diffusataschenlösung zeigt dass die Alkalien der letzteren in der That in Form von Carbonaten gegeben sind.

Derselbe Versuch 54 entscheidet endlich die Frage bezüglich des quantitativen Verhältnisses zwischen der chemischen Absorptionsgrösse des normalen Serums und denjenigen seiner beiden Bestandtheile nach der Dialyse. Die chemischen Absorptionsgrössen des normalen Serums liegen zwischen 24 und 30 ccm CO_2; diejenigen des dialysirten Serums und des concentrirten Diffusates betragen im Vers. 54 nur 18 ccm, während die Summe der Absorptionsgrössen des dialysirten Serums und der Diffusatasche nach demselben Versuche 35 ccm CO_2 beträgt.

Somit könnten von allen die Dialyse des Serums begleitenden Erscheinungen nur 2 Thatsachen als Folgen einer chemischen Umsetzung der CO_2-bindenden Stoffe aufgefasst werden: die Entwickelung der Säure und das Zurückbleiben im dialysirten Serum eines nicht unbedeutenden chemischen Absorptionsvermögens für CO_2 trotz seiner Verarmung an Alkalien. Die Abstammung des rohen Materials für die Säure gerade aus den organischen Bestandtheilen der CO_2-bindenden Substanzen will ich zwar nicht absolut verneinen, halte sie jedoch für sehr unwahrscheinlich, *denn die zweite für die weitere Entwickelung unserer Frage höchst wichtige Thatsache sich nur als Folge der Alkalientziehung von den sonst normal gebliebenen CO_2-bindenden Stoffen erklären lässt* (siehe hierüber die nächstfolgenden Paragraphen).

16. In Betreff der nun folgenden und in der Tab. III zusammengestellten Versuche an den Serumderivaten habe ich zu bemerken, dass dieselben in drei Gruppen zerfallen, von denen die erste (Vers. 55—59) das Verhalten der Dialysederivate zu CO_2 an und für sich;—die zweite ein ebensolches Verhalten des normalen Serums nach seiner Behandlung mit $MgSO_4$ (Vers. 60—62);—und die dritte (alle übrigen Versuche) das Verhalten der Gemische von Dialysederivaten mit CNa_2O_3 zu CO_2 anzuzeigen bestimmt ist. Durch den letzten Drittel stellen diese Versuche eine natürliche Fortsetzung derjenigen in den §§ 12 und 13 angeführten dar, insofern man auch hier mit dem Verhalten einzelner Bestandtheile des Serums gegen CNa_2O_3 zu thun hat. Es sind im Ganzen 3 Formen von Dialysederivaten untersucht worden: 1) einfach dialysirtes Serum; 2) dialysirtes und von Fetten (resp. von Cholesterin) befreites Serum; 3) dialysirtes, von Fetten, Paraglobulin und Pigmenten befreites Serum oder kurz Serumeiweisslösung. Die Darstellungsweise aller dieser Derivate ist schon aus dem früheren bekannt; hier mögen nur einige Bemerkungen in Bezug auf die Endoperationen bei der Gewinnung des Serumeiweisses und in Betreff der Behandlung des Serums mit $MgSO_4$ hinzugefügt werden. Extrahirt man die Farbstoffe mittels CO_2 und Aether, so bekommt man nach dem letzten Schütteln des Serums mit Aether die unterste Serumeiweisschicht nur selten vollkommen klar, besonders beim Kalbserum; und diese Trübung, welche anfangs unbedeutend sein kann, nimmt beim Stehen der Flüssigkeit zu. Um ihrer los zu werden, muss die Serumeiweisslösung, nachdem sie von den oberen Schichten geschieden ist, wiederum mit CO_2 gesättigt und we-

nigstens für 24 Stunden in Eis gestellt werden. Hinsichtlich der Ausscheidung der Globuline mittelst $MgSO_4$ ist folgendes zu beachten: ein mit $MgSO_4$ bei der Zimmertemperatur im Ueberschusse versetztes und vom Niederschlage abfiltrirtes Pferdeserum scheint mir einen Theil der Globuline zurückzuhalten, denn wird die Flüssigkeit in eine Kältemischung gestellt, so scheiden sich aus derselben die Krystalle des Salzes nicht rein aus, sondern gemischt an einen schneeweissen pulverigen Eiweisskörper; erst nach dieser zweiten Ausscheidung erhält man eine Flüssigkeit, welche in der Kälte reine Krystalle von $MgSO_4$ ausscheidet. Mit solcher Flüssigkeit ist der Versuch 62 angestellt. In allen Versuchen mit $MgSO_4$-Serum wurde der Lösungscoëfficient aus den totalen Absorptionsgrössen ausgerechnet.

Tab. III.

№	Name	V	t	p	A	Y	VX	VX auf 100 ccm Flüssigkeit.	
55	Dial. Kalbserum	50,485	15,2°C.	52,52	7,054	1,01	4,37	8,7	ccm
	Dasselbe Serum	»	»	407,29	27,094	»	6,32	13	»
				515,72	32,846		6,55		
	Dasselbe Serum+ H_2O Vol. auf Vol.	»	»	438,01	25,788	»	3,6	7,8	»
				576,85	33,135		3,9		
56	Dial. Kalbserum	50,179	»	477,92	28,739	»	5,00	11	ccm
				540,17	32,147		5,31		
				621,56	36,450		5,58		
57	Dial., v. Fett. u. Paragl. (z. Theil) befreites Kalbserum.	50,179	15,2°C.	77,33	7,903	1,01	3,98	7,9	»
		»	»	546,01	33,502	»	5,83	12	»
				771,13	45,235		6,15		
58	Dasselbe Serum+ H_2O Vol. auf Vol.	»	»	59,69	5,259	»	2,23	4,4	»
59	Serumeiweisslösung des Pferdeblutes	50,179	15,2°C.	89,31	7,639	1,01	3,11	6,2	»
		»	»	549,32	31,746	»	3,90	8,8	»
				745,62	42,205		4,41		
60	Mit $MgSO_4$. ungen. vers. Pferdeser. Keine Aussch. v. Paraglob.	50,179	15,2°C.	94,31	11,882	0,3216	10,36	20,7	»
		»	»	622,74	26,851	»	16,80	33,6	»
				895,10	31,248				
61	Dass. Ser. nach vollst. Aussch. v. Paragl.	»	»	680,73	16,440	0,2729	7,12	14,2	»
				955,23	20,200				
62	Pferdeserum nach vollst. Ausscheid.d. Paragl.mitt.$MgSO_4$ und Kälte.			96,16	7,835	0,3071	6,35	12,7	»
				677,25	17,743				
				946,56	21,893		7,30	14,6	»
63	CNa_2O_3-Lösung	50,179	15,2°C.	68,19	8,535	1,01	5,08	10,1	»
	Dial. Kalbser. ohne Fette	»	»	72,90	8,052	»	4,35	8,7	»
	Dass.Ser.+CNa_2O_3	»	»	83,67	11,976	»	7,73	15,4	»
64	CNa_2O_3-Lösung	50,179	15,2°C.	122,14	12,956	1,01	6,76	13,5	»
	Dial. Kalbser. ohne Fette	»	»	78,50	7,480	»	3,40	6,8	»
	Dass.Ser.+CNa_2O_3	»	»	46,03	10,810	»	8,47	16,9	»
65	CNa_2O_3-Lösung	50,179	15,2°C.	122,14	12,956	1,01	6,76	13,5	»
	Serumeiw. d. Kalbbl.	»	»	54,40	7,573	»	4,81	9,6	»
	Serumeiw.+ +CNa_2O_3	»	»	68,01	14,479	»	11,03	22,0	»

17. Wollen wir erst bei den Versuchen 55, 56 und 57 stehen bleiben. Dieselben zeigen, das sowohl das einfach dialysirte Serum als dasjenige, welches zugleich von Fetten und einem Theile des Paraglobulins befreit ist,[1] Körper enthält, welche CO_2 abhängig vom Drucke und von der Concentration der Flüssigkeit chemisch binden. Die Abhängigkeit der chemischen Absorptionsgrössen von dem ersteren scheint sogar im dialysirten Serum etwas stärker als im normalen ausgesprochen zu sein, denn die aus den totalen Absorptionsgrössen auf die bekannte Weise ausgerechneten Lösungscoëfficienten (dieselben sind in der Tab. III. nicht angeführt) im dialysirten Serum durchschnittlich höher als im normalen ausfallen: im letzteren beträgt ihr mittlerer Werth bei t=15,2° 0,99, im ersteren 1,06. Dieser Umstand deutet jedenfalls auf ein *etwas beweglicheres Gebundensein der CO_2 im dialysirten Serum* hin und ist leicht aus der Verarmung der normalen Flüssigkeit an Alkalien zu erklären, welche an der Fixirung der absorbirten CO_2 natürlich mithelfen.

Man überzeugt sich ferner sehr leicht, dass die durch das dialysirte Serum bei mittleren und stärkeren CO_2-Spannungen chemisch gebundenen CO_2-Mengen zu gross sind um durch die chemische Absorption von Seite des im Serum zurückgebliebenen Alkali erklärt zu werden. Dieselben betragen in der That in den Versuchen 55 und 56 13 und 12 ccm CO_2 auf 100 ccm Serum; während das Alkali dieser Flüssigkeit als Na_2O berechnet durchschnittlich 0,017 gr. Na_2O beträgt, und folglich höchstens 9—10 ccm CO_2 binden könnte, d. h. wenn es sich bei der Absorption in saures Carbonat umgewandelt hätte, was rein unmöglich ist, da das dialysirte Serum die CO_2 locker bindet. Hieraus folgt unvermeidlich, dass *die Stoffe des dialysirten Serums, welche CO_2 nach variablen Verhältnissen binden, mit diesem Gase nicht wie Salze nur vermöge des in ihnen enthaltenen Alkali, sondern auf eine complexere Weise reagiren, und zwar mit einer Betheiligung der organischen Stoffe an der Reaction.*—Anders lässt sich die Thatsache nicht erklären!—Der Gedanke enthält übrigens nichts Unwahrscheinliches, so wie man sich die fraglichen Stoffe als Globuline denkt; denn diese Substanzen werden bekanntlich von sehr schwachen Säuren (wie z. B. Essigsäure) leicht angegriffen und zersetzen sich ganz unzweifelhaft auch unter dem Einflusse von CO_2.—Wie würde man anders die Thatsache erklären, dass die fibrinogene Substanz zu ihrer Ausscheidung aus dem Blutplasma mittelst CO_2 einer stärkeren Verdünnung der Flüssigkeit als die fibrinoplastische bedarf? Ich sehe deshalb keinen Grund ein, die Umwandlung der Globuline unter dem Einflusse von CO_2 in Acidalbumine als unmöglich zu betrachten und finde den Gedanken nicht unnatürlich, dass diese Stoffe unter geeigneten Bedingungen eine gewisse Menge CO_2 chemich fixiren können, wie es mit anderen Säuren bei Bildung der Acidalbumine geschieht.

Nach dieser für die weitere Discussion der Versuchsergebnisse unentbehrlichen Abschweifung kehre ich zu der Betrachtung der Tab. III zurück.

Die Zusammenstellung der Vers. 55 und 56 mit dem Vers. 57 zeigt endlich, dass diese Stoffe weder in den während des Auspumpens mögli-

---

[1] In allen diesen Versuchen wurde das dialysirte Serum im unverdünntem Zustande mit CO_2 behandelt.

cherweise entstandenen Seifen [die Fette sind ja aus dem Serum des Vers. 57 entfernt!] noch in demjenigen Theile der Globuline zu suchen sind, welcher aus einem unverdünnten dialysirten Serum mittelst CO_2 ausgeschieden wird. Zieht man ausserdem den Vers. 59 zu Rathe, so ist leicht zu sehen, dass die die CO_2 nach variablen Verhältnissen bindenden Stoffe im Serumeiweiss beinahe gänzlich fehlen; folglich sind dieselben entweder in jenem Theile der Globulinsubstanzen enthalten, welcher im unverdünnten dialysirten Serum nach seiner Behandlung mit CO_2 zurückbleibt, oder in diesen Substanzen und zugleich in jenem chromogenen Körper, von welchem oben im § 14 die Rede war.—Letzteres kann übrigens nur in Bezug auf das Pferde- und Kalbserum vermuthet werden, da nur diese nahmhafte Mengen von Farbstoffen enthalten.

Zur Entscheidung dieser Frage wurde die von Hammarsten mit solchem eclatanten Erfolge erprobte Methode der Ausscheidung der Globuline mittelst $MgSO_4$* in Anwendung gebracht. Da jedoch die im Serum bei dieser Behandlung möglicherweise entstehenden Umlagerungen von Stoffen zu wenig bekannt sind, so war ich genöthigt erst Absorptionsversuche an einem mit $MgSO_4$ nicht vollständig gesättigten Serum anzustellen. Von solchen Probeversuchen ist sub № 60 einer angeführt, in welchem die Flüssigkeit mit einem verwitterten Salze beinahe vollständig gesättigt war. Da die chemischen Absorptionsgrössen in diesem Versuche ebenso gross wie im normalen Serum ausgefallen sind, so kann derselbe als Beweis gelten, dass die Methode für unsere Zwecke tauglich ist. Im Vers. 61 wurde dasselbe Pferdeserum mit $MgSO_4$ im Ueberschusse versetzt und hier fil die chemische Absorptionsgrösse der von den Globulinen abfiltrirten Flüssigkeit um mehr als die Hälfte herunter. Der Versuch 62 ist eine Wiederholung des vorherigen, mit dem einzigen Unterschiede, dass hier eine Bestimmung unter niedrigerer CO_2-Spannung (96 mm) beigefügt ist und dass das von den Globulinen abfiltrirte Serum vor dem Absorptionsversuche in eine Kältemischung hingestellt war, wobei es nebst Salzkrystallen[1] eine gewisse Menge schneeweissen feinflockigen Eisweisskörpers ausgeschieden hat. In Bezug auf die chemische Absorption bei stärkeren Spannungen von CO_2 hat dieser Versuch die Ergebnisse des vorherigen bestätigt; da er aber zugleich gezeigt hat, dass das von den Globulinen vollständig befreite Serum CO_2 beinahe unabhängig vom Drucke bindet, so kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, dass *die die Kohlensäure nach variablen Verhältnissen bindenden Stoffe des Serums fast ausschliesslich durch Globuline gegeben sind und zwar durch denjenigen Theil dieser Substanzen, welcher im Serum nach seiner Behandlung mit* CO_2 *zurückbleibt.*

Ebenso sicher ist es weiter, dass bei der Ausscheidung von Globulinen mittelst $MgSO_4$ die Alkalien des Serums in zwei Hälften zerfallen, von denen die grössere mit den Globulinen herausfällt. Ob diese Thatsache jedoch als Beweis zu betrachten ist, dass nur dieser Theil von Alkalien an Globuline gebunden ist, kann ich nicht behaupten, solange es unbewiesen

---

* Ueber das Paraglobulin, Pflüg. Arch. B. XVIII. H. 3—4, Seite 110, Tab. II.

[1] Aus diesem Grunde ist der Lösungscoëfficient im Vers. 62 höher als in dem vorherigen ausgefallen.

bleibt, dass eine solche Theilung aus einer Aenderung der Löslichkeitsverhältnisse für die Alkalien nicht abgeleitet werden kann.

18. Nun gehe ich zu den Versuchen an den Gemengen der Serumderivate mit CNa_2O_3 über, und zwar will ich erst die nackten Thatsachen darlegen. Versuche 63 und 64 zeigen übereinstimmend, dass Gemische des dialysirten globulinhaltigen Serums mit CNa_2O_3 die Kohlensäure bei niedrigen Spannungen dieses Gases in geringeren Mengen binden, als es die beiden Ingrediente der Mischung thun. Im Versuche 63 absorbirte in der That das dialysirte Serum mit CNa_2O_3 nur 15,4 ccm CO_2 anstatt 18,8 ccm; im Vers. 64—nur 16,9 ccm CO_2 anstatt 20,3. Der Versuch 65 zeigt im Gegentheil, dass eine solche Eigenschaft den Gemischen von Serumeiweiss mit CNa_2O_3 beinahe gänzlich fehlt [anstatt 23,1 ccm CO_2 absorbirte das Gemenge 22 ccm] und insofern beweist derselbe, dass an den Erscheinungen der geringeren CO_2-Bindung durch die Mischung in Vergleich mit den Absorptionsgrössen ihrer Ingredienten Serumglobuline betheiligt sind; und zwar nur der durch CO_2 nicht ausscheidbare Theil derselben, weil die Paraglobuline (siehe oben im § 13 Vers. 43 und 44) nichts derartiges zeigen.

Nachdem dieses Verhalten der Gemische des dialysirten Globulins mit CNa_2O_3 gegen die CO_2 festgestellt war, glaubte ich sogleich eine Bestätigung der Vermuthung von Sertoli über die sauere Natur der Globuline gefunden zu haben, denn die Erscheinung liess sich in der That durch die abschwächende Einwirkung der Globuline auf das chemische Absorptionsvermögen des Natriumcarbonats am leichtesten erklären. Auch war ich fest überzeugt, dass es mir gelingen wird die zersetzende Einwirkung des dialysirten[1]) und von Fetten befreiten Serums auf CNa_2O_3 im Vacuo auf die im § 11 angegebene Weise zu beweisen. Um so grösser war meine Ueberraschung als ich in zwei solchen Versuchen negative Resultate erhielt. In dem ersten von ihnen—am Pferdeserum—bekam ich nach einem Kochen im Laufe von 20* keine Spur von CO_2-Entwickelung; in dem zweiten—am Kalbserum—war die Trübung des Barythwassers nach einem ebenso langen Kochen obgleich wahrnehmbar, jedoch so unbedeutend, dass ich keinen Anstand nehme auch diesen Versuch als negativ zu betrachten.

Nach diesen negativen Ergebnissen könnte die Idee von Sertoli allerdings noch gerettet werden—durch die Vermuthung nämlich, dass die Globuline als Säuren zu schwach sind um CNa_2O_3 zu zersetzen, aber kräftig genug um die Umwandlung desselben in saures Carbonat bei schwachen CO_2-Spannungen zu beeinträchtigen. Bald sah ich jedoch ein, dass man zu demselben Ziele—ja noch mehr, zur Erklärung aller von mir am Serum beschriebenen Erscheinungen!—gelangen kann, wenn man eine viel wahrscheinlichere Annahme macht, *dass die die Kohlensäure nach variablen Verhältnissen bindenden Stoffe des Serums eine Art Alkalialbuminat darstellen, welches gegen die Kohlensäure wie ein Salz mit schwacher Säure nur insofern sich verhält, als der eiweissartige Theil* (d. h. Globulin) *dieser Verbindung unter dem Einflusse von* CO_2 (und zwar erst unter diesem Einflusse!) *sauere Eigenschaften bekommt.*

* Pflüger hat bekanntlich solche Versuche an Gemischen des normalen Serums mi CNa_2O_3 gemacht und erklärte die negativen Erfolge durch die Vermuthung, dass das Serum zu wenig saure Körper im Vergleich mit den Carbonaten enthält.

Es ist, wie man sieht, die Idee von Sertoli, nur mit dem wesentlichen Zusatz, dass die Globuline nicht von vorn herein sauere Eigenschaften besitzen, sondern dieselben erst unter dem Einflusse von CO_2 erhalten, indem sie hierbei in eine Art Acidalbumine übergehen. Der Zusatz ist deshalb wesentlich, als man durch denselben für die auf das alkalihaltige Globulin einwirkende CO_2 so zu sagen zwei Angriffspunkte anstatt eines enizigen schafft und mit ihnen zwei Bedingungen, in Folge deren die Schwankungen der einwirkenden CO_2 mit zwei entgegengesetzten Erfolgen beantwortet werden.—Ich meine die Umwandlung der Globuline in eine salzartige Verbindung, welche die CO_2 in um so grösseren oder geringeren Quantitäten bindet, je nach dem der Druck in die Höhe steigt oder sinkt, und die Verstärkung resp. Abschwächung des sauren Charakters in dem Körper, welche die chemische Absorption von CO_2 (natürlich unter übrigen gleichen Bedingungen) zu erniedrigen resp. zu erhöhen strebt.

Die Vorzüge meiner Theorie vor der Sertoli'schen lassen sich erst dann erkennen, wenn man alle die bekannten Erscheinungen der CO_2-Absorption und der CO_2-Ausscheidung [bei dem Auspumpen des Serums] mittels beider zn erklären versucht—geschweige, dass die verhältnissmässig so grosse chemische Bindung von CO_2 durch das dialysirte Serum und die Unzersetzbarkeit des Natriumcarbonats durch CO_2-freie dialysirte Globuline mit der Sertoli'schen Ansicht ganz unverträglich sind. Von diesen Erscheinungen will ich die Erfolge der Entgasung des Serums und die quantitative Seite der chemischen CO_2-Absorption als Beispiele nehmen. Ihre Analyse ist sogar unentbehrlich, weil man nur auf diesem Wege zu einer klaren Vorstellung über den Zustand der Kohlensäure im Serum gelangen kann.

19. Die Kohlensäure kann bekanntlich aus dem Serum nie vollständig ausgepumpt werden; andererseits sind die unauspumpbaren Reste derselben so gering im Vergleich mit der Menge der Serumalkalien, dass sie nur einen kleinen Theil der letzteren in neutrales Carbonat umwandeln können; drittens ist es aus einem Versuche von Pflüger bekannt, dass vollständig ausgepumptes Serum keine Fähigkeit besitzt $CNa\,HO_3$ im Vacuo zu zersetzen. Diese Reihe von Thatsachen lässt sich mit der Ansicht von Sertoli nur dann in Einklang setzen, wenn man (wie es übrigens schon von Seite Pflüger's geschehen ist) annimmt, dass die Menge saurer Globuline im Serum nicht hinreicht die hier in Form von Carbonaten befindlichen Alkalien zu zersetzen. Hierdurch ist man genöthigt die CO_2-bindenden Stoffe des Serums in zwei Theile zu zerlegen, nämlich in alkalihaltige Globuline und in die Natriumcarbonate[1]—eine Complicirtheit, welche, wie ich unten

[1] Sertoli gelangte zu dieser Ansicht auf eine andere Weise, indem er nämlich auf Grund seiner Serumaschenanalyse die maximale chemische Absorption von CO_2 auf 100 ccm Serum berechnete und die so erhaltene Zahl mit der von Al. Schmidt im Pferdeserum gefundenen CO_2-Menge verglich. Hierbei beging er (natürlich aus Versehen) den Fehler, sein auf 760 mm reducirtes CO_2-Volumen mit einen solchen zusammenzustellen, welches auf 1000 mm reducirt war. Nur deshalb konnte er zu dem Schlusse kommen, dass schon die Hälfte des Natrons im Serum hinreicht, den in dieser Flüssigkeit beobachteten CO_2-Gehalt zu erklären, wenn man sich nämlich diese Hälfte in $CNaHO_3$ umgewandelt denkt. Uebrigens sind alle seine Vorstellungen über den Zustand der Kohlensäure im Serum sehr unbestimmt da wir zu jener Zeit das Verhalten der Salze mit schwachen Säuren zu CO_2 gar nicht kannten.

zeigen werde, mit der quantitativen Seite der CO_2-Absorption schwer zu vereinbaren ist und welche bei der von mir vertretenen Ansicht gar nicht existirt.

Nach meiner Theorie sind nämlich die CO_2-bindenden Stoffe des normalen CO_2-haltigen Serums, als ein Gemisch von Zersetzungsproducten des genuinen Körpers «Globulin+Na_2O» unter dem Einflusse von CO_2 zu betrachten. In diesem gespaltenen dennoch als ein Ganzes bestehenden Complex ist die Kohlensäure auf zweifache Weise verwendet: einerseits verwandelt sie das Globulin in eine schwache Säure und dadurch den genuinen Körper in eine salzartige Verbindung, andererseits wirkt sie auf das Alkali ein, da es aber jetzt nicht mehr frei ist, so entspricht die letztere Wirkung den bekannten Reactionen der Säuren mit Salzen, worin die freie Säure mit derjenigen des Salzes um die Base rivalisirt, d. h. einen Theil der letzteren dem Salze zu entziehen strebt. Beide Theile des reagirenden (d. h. chemisch absorbirten) Gases, sowohl der säurebildende als der salzzersetzende, müssen sich ferner im lockeren Zustande befinden: ersterer, weil man den Globulinen als Eiweisstoffen nur sehr schwache basische Eigenschaften zumuthen kann; letzterer, weil die Zersetzung des Salzes mit einem Freiwerden der Säure verbunden ist, welche die Kohlensäure in dem gebildeten Carbonate lockert. Beide Theile der Kohlensäure müssen hiermit bei dem Auspumpen des Serums allmälig entweichen, jedoch nicht gleichmässig: je ärmer die Flüssigkeit an CO_2 wird, desto mehr verlieren die Globuline an saurem Charakter, desto stärker wird im Gegentheil die Kohlensäure von Seite des Alkali angezogen. Es muss folglich ein Moment eintreten, wo die Kohlensäure nur durch das letztere fixirt wird; und zwar muss dieses Moment unter übrigen gleichen Bedingungen desto schneller eintreten, je alkalireicher die Globuline sind; darum ist der unauspumpbare Theil der CO_2 im Serum der Pflanzenfresser höher als in demjenigen des Hundes.

Berechnet man mit Hülfe der Zahlen von Bunge für das überschüssige Natron im Serum (siehe oben § 9) die seiner Umwandlung in Bicarbonat entsprechenden Bindungsgrössen von CO_2, so erhält man auf 100 ccm Flüssigkeit die in der 1. Spalte der nächst anzuführenden tabellarischen Zusammenstellung befindlichen Zahlen. Die 2. Spalte enthält die von mir bei mittleren und stärkeren CO_2-Spannungen beobachteten chemischen Absorptionsgrössen ebenfalls auf 100 ccm Serum. Letztere Zahlen stellen jedoch nicht die ganzen Mengen der im Serum im chemischen Zustande befindlichen CO_2 dar, weil das Serum vor der Absorption noch die s. g. unauspumpbaren Reste des Gases enthielt. Da ich diese Reste nicht bestimmt habe, so entnehme ich (3. Spalte) die totalen Mengen der chemisch gebundenen CO_2 im Serum des Pferde- und Hundeblutes, nachdem die Flüssigkeiten bei 11° C. und 756—758 mm CO-Spannung mit CO_2 gesättigt waren, den Versuchen von Zuntz.[1] Die chemischen Bindungsgrössen berechnete er ganz richtig aus den totalen CO_2-Mengen mittels des Coefficienten des Wassers für t=11° C. Die Zusammenstellung der Zahlen von Zuntz mit meinen Absorptionsgrössen gab die Möglichkeit

[1] Seine Inauguraldissert., p. 38, №№ d. Vers. 1, 2 u. 4.

«die unauspumpbaren Reste für alle meine Versuche zu berechnen [dieselben sind in der 4. Spalte angeführt]; hieraus bekam ich aber die Möglichkeit die totalen Mengen der chemisch gebundenen CO_2 auch in denjenigen meiner Versuche zu bestimmen, wo die Absorption unter 40—50 mm CO_2-Druck geschah: es müssen hierfür nur zu den von mir für diesen Druck beobachteten Bindungsgrössen (dieselben betragen durchschnittlich $^2/_3$ der den stärkeren Spannungen entsprechenden Bindungsgrössen) die unauspumpbaren Reste hinzuaddirt werden. Diese Zahlen nehmen die letzte Spalte ein[1].

Serumart	Die nur theoret. mögl. Meng. d. chem. geb. CO_2 in 100 ccm. Ser. nach d. Zahlen von Bunge.	Die von Setschenow bei stärkeren Co_2-Spann. beob. chem. Absorptionsgrössen in 100 ccm. Serum.	Die von Zuntz in einem bei 757 Mm. Spann. mit CO_2 gesätt. Serum gefund. Meng. d chem. abs. CO_2	Unauspumpbare Reste.	Die Meng. d. ch. geb. CO_2 im Ser,. welches mit dies. Gas. bei 40—50 Mm. Spann. gesättigt ist.
Pferdeser.	63 ccm. CO_2	31 ccm. CO_2	44 ccm. CO_2	13 ccm.	33 ccm. CO_2
Rinderser.	60 » »	31 » »			
Hundeser.	48 » »	24 » »	27 » »	3 »	19 » »

Sehen wir nun zu, wie diese quantitativen Thatsachen durch die Ansicht von Sertoli zu erklären sind, und zwar wollen wir erst der Einfachheit wegen annehmen, das die CO_2-bindenden Stoffe des Serums in ihrer ideellen genuinen Form [wenn man sich nämlich dieselben als ausserhalb des CO_2-haltigen Mediums des Körpers entstanden denkt] weder überschüssiges Carbonat noch überschüssiges Natron enthalten, so dass die Verbindung «Globulin+Natron» eine Art neutralen Salzes darstellt.

Da nach der Idee von Sertoli CO_2 das von vornherein saure Globulin nicht angreift, so würde ihre Reaction mit dem genuinen Körper nur in einer Richtung wie mit einem Salze erfolgen: CO_2 würde demselben einen Theil seiner Base zu entreissen streben und zwar einen desto grösseren je schwächer die Globulinsäure ist. Den totalen Mengen von Zuntz entsprechend, würde sie nämlich in allen drei Serumarten mehr wie die Hälfte der Base entziehen, denn die Hälfte des Serumnatrons in $CNaHO_3$ umgewandelt giebt die Zahlen 31, 30 und 24 für die chemische Absorption, während die Zahlen von Zuntz 44 und 27 betragen. Der entzogene Na_2O-Theil würde natürlich noch grösser ausfallen, wenn man sich denkt, dass derselbe in $CNaHO_3$ unvollständig übergeht. Nun ist es leicht an einem Beispiele zu zeigen, wie stark ungefähr die Globulinsäure sein muss. Zu dem Ende wollen wir für einen Augenblick annehmen, dieselbe sei zweibasisch wie Kohlensäure und ebenso stark wie diese. Unter dieser Bedingung würde letztere dem Salze offenbar gerade die Hälfte seiner Base (mit Bildung zweier saurer Salze) entziehen; da sie aber in der Wirklichkeit mehr entzieht, so würde hieraus unvermeidlich folgen, dass die Globulinsäure schwächer ist als Kohlensäure von 758 mm Spannung und 15,2° C.

Indem man alle diese Betrachtungen auf das mit CO_2 bei 40—50 mm Druck gesättigte Serum überträgt [man betrachte die Zahlen der 1 und 4

[1] Eine solche Zusammenstellung eigener Versuche mit denjenigen anderer Beobachter kann beim ersten Anblick willkürlich erscheinen; sie findet jedoch ihre Berechtigung in der aus den Serumaschenanalysen verschiedener Beobachter (C. Schmidt, Sertoli und Bunge) hervorgehenden Constanz des Natrongehaltes im Serum einer und derselben Thierart.

Spalte!], kommt man ebenso unvermeidlich zu dem Schluss, dass die Globulinsäure des Pferdeserums [höchstwahrscheinlich auch diejenige des Kalbserums] schwächer ist die Kohlensaure von 40 mm Spannung und. 15,2° C.; während diejenige des Hundeserums umgekehrt etwas stärker ist.

Diese Schlüsse können jedoch nur so lange bestehen, als man die CO_2-bindenden Substanzen des Serums, der Ansicht von Sertoli entgegen, nur aus Globulin+Natron bestehend denkt. So wie diesem Körper noch das Natriumcarbonat als genuiner Theil beigesetzt wird, nehmen die Absorptionsverhältnisse eine andere Gestalt an, weil jetzt die CO_2-bindenden Stoffe in zwei Theile zerfallen, welche mit CO_2 getrennt von einander und auf eine ganz verschiedene Weise reagiren: CNa_2O_3 ganz unabhängig vom Drucke der CO_2 und Alkaliglobulin auf die oben geschilderte Weise. Dank solcher Unabhängigkeit beider Reactionen ist es auch jetzt möglich über den Zustand der absorbirten CO_2 zu urtheilen, wenn die Menge des Natriumcarbonats bekannt ist. Als Beispiel will ich den wahrscheinlichsten Fall betrachten, wo die Kohlensäure des genuinen Carbonats durch die unauspumpbaren Reste dieses Gases repräsentirt ist. Unter dieser Voraussetzung könnte der höchste mögliche CO_2-Gehalt der Globuline, im Pferdeserum 37 ccm CO_2 (63—13×2), im Hundeserum 42 ccm CO_2 (48—3×2)—und die von denselben bei 757 mm Dr. wirklich gebundenen CO_2-Mengen im Pferdeserum nur 18 ccm (44—13×2), im Hundeserum 21 ccm (27—3×2), d. h. gerade die Hälfte der obigen Zahlen betragen. Die Globulinsäuren wurden mit anderen Worten in beiden Serumarten gleich stark sein, und zwar dieselbe Stärke wie Kohlensäure von 757 mm Spannung und 15,2°C. besitzen. Berechnet man jedoch auf dieselbe Weise die bei den Spannungen von 40—50 mm mit Globulinen reagierenden CO_2-Mengen, so ergiebt sich folgendes: im Pferdeserum entzieht die Kohlensäure dem Globulinsalze weniger wie $^1/_5$ seiner Base, nämlich $^7/_{37}$, während im Hundeserum dieses Verhaltniss beinahe $^1/_3$ beträgt, nämlich $^{13}/_{42}$.—Offenbar ein Unsinn!— Bei der Absorption unter stärkeren Druckhöhen erweisen sich zwei Säuren ihrer Reaktionen nach einander gleich, und bei der Absorption unter niedrigeren Spannungen erweist sich die eine viel stärker als die andere!

Folglich ist die Sertoli'sche Ansicht, nach welcher die Serumalkalien nur zum Theil an Globuline gebunden sein müssen, mit den Erscheinungen der CO_2-Absorption eigentlich unvereinbar. In der oben dargebrachten einfacheren Form könnte sie dieselben allerdings erklerlich machen; dann wurde aber die Existenz der unauspumpharen CO_2 im Serum unerklärlich bleiben; denn so wie man sich die Globuline von vornherein als schwashe Säure denkt, müssen dieselben die Carbonate im Vacuo bis zu den letzten Spuren zersetzen, wie es z. B. an den Gemischen CNa_2O_3 mit Haemoglobin der Fall ist. Die Existenz der unauspumpbaren CO_2 wird erst dann verständlich, wenn man sich die saure Hälfte der Verbindung «Globulin+Natron» als eine bei dem Auspumpen schwächer und schwächer werdende Säure denkt—eine Vorstellung, welche gerade in meiner Hypothese enthalten ist da sie an die Stelle der «Globulinsäure» «Carbo-Globulisäure» setzt.

Als letzte Stütze für meine Hypothese kann ich die im zweiten Theile dieser Abhandlung streng bewiesene Thatsache anführen, dass die Blut-

körperchenstoffe ein dieser Ansicht entsprechendes Verhalten gegen CO_2 zeigen,—Stoffe, welche doch sicher mehr oder weniger direct mit den Globulinen des Serums im genetischen Zusammenhange stehen.

II. Versuche an den rothen Blutkörperchen.

20. Das Verhalten der rothen Blutkörperchen zu CO_2 ist in allen wesentlichen Zügen allgemein bekannt. Man weiss, dass sie dieses Gas bedeutend lockerer als das Serum absorbiren; dass ein Theil des Gases von ihnen dennoch chemisch gebunden ist (Al. Schmidt und Zuntz); dass die chemischen Absorptionsgrössen vom Drucke abhängig sind (Zuntz); dass endlich den Blutkörperchenstoffen sauere Eigenschaften zukommen, indem dieselben CNa_2O_3 im Vacuo zu zersetzen im Stande sind (Pflüger). Es folgt schon hieraus, dass meine jetzige Aufgabe eigentlich viel einfacher als die vorherige ist; um so mehr, wenn man den Umstand in Betracht zieht, dass die Blutkörpechen im Grunde viel einfacher, namentlich in Bezug auf die CO_2-bindenden Stoffe, als das Serum zusammengesetzt sind:— es genügt in der That einen einzigen Absorptionsversuch mit reiner Haemoglobinlösung anzustellen, um die Ueberzeugung zu erhalten, dass die überwiegende Rolle bei der CO_2-Absorption nur diesem Körper angehören kann. Derselbe lässt sich allerdings in seinem natürlichen Zustande nicht rein darstellen, da es bis jetzt unmöglich ist die Blutkörperchen sogar von Serum, geschweige von solchen Bestandtheilen wie die Stoffe des Stroma, Cholesterin und Lecithin zu reinigen;—man ist mit anderen Worten genöthigt entweder nur Lösungen des reinen aber veränderten (alkalifreien) Haemoglobins zu gebrauchen, oder an höchst complicirten Gemischen von Stoffen zu arbeiten. Alle diese Uebelstände mit den aus denselben entstehenden Fehlern verschwinden jedoch vor dem Umfange der CO_2-Absorption durch das Blutroth in solchem Masse, dass es unlogisch wäre auf die Versuche mit unreinen Blutkörperchenlösungen zu verzichten wegen der Unmöglichkeit dieselbe zu reinigen. Aus diesem Grunde habe ich meine Versuche sowohl an solchen unreinen Flüssigkeiten, welche für mich als Aequivalente des unveränderten (alkalihaltigen) Blutfarbstoffes galten, als an Haemoglobinlösungen angestellt.

Die Flüssigkeiten ersterer Art, welche ich kurzweg *aufgelöstes Cruor* nennen werde, wurden aus den zerdrückten Blutcoagulis mittelst wiederholten Zufrierens und Aufthauens des dicken durch das Mousselin filtrirten Cruors bereitet. Pferdeblut liess ich zu demselben Zwecke im defibrinirten Zustande paar Tage im Eis stehen und gebrauchte den ganzen Bodensatz mit Ausnahme der obersten Schichten, welche die weissen Blutkörperchen enthalten. Es ist kaum nöthig zu sagen, dass nur das auf diese Weise bereitete Pferdecruor soweit rein vom Serum ist, dass es den Namen einer Blutkörperchenlösung verdient; auch sind die meisten entscheidenden Versuche an dieser Cruorart angestellt.

Wenn man verdicktes Pferde- oder Hundecruor 4—5 Mal zufrieren und aufthauen lässt, so gelingt es eine reiche Krystallisation von Haemoglobin zu erhalten. Der am Boden sich sammelnde krystallinische Brei wurde ebenfalls zu den Versuchen und zwar ohne Wasserzusätze unter dem

Namen *des crystallisirten Cruors* gebraucht. Dieselben krystallinischen Niederschläge mit weingeisthaltigem Wasser gewaschen bildeten endlich das Material zur Bereitung der Haemoglobinlösungen.

Der Veränderlichkeit der Blutkörperchenstoffe konnte nur ein möglichst rasches Bereiten der Flüssigkeiten bei stetigem Aufbewahren derselben im Eis oder sogar im zugefrorenen Zustande entgegengesetzt werden. Da, wo es möglich war, erwiesen sich die Mittel als genügend: im zugefrorenen Zustande halten sich die Blutlösungen unbestimmt lange ohne Veränderung; beim Stehen im Eis ist das Sinken der chemischen Absorptionsgrössen erst am dritten Tage merklich, aber auch jetzt nicht stark. In allen Fällen, wo es auf die quantitative Seite der Absorptionserscheinungen ankam, hielt ich die Flüssigkeiten im zugefrorenen Zustande.

Am meisten hatte ich mit dem wahren Lösungscoefficienten des Cruors zu schaffen. Direct aus den Versuchen liess er sich nicht ableiten, weil ein ziemlich bedeutender Theil der durch die Blutkörperchenstoffe chemisch gebundenen CO_2 vom Drucke abhängig ist und in Folge dessen die aus den totalen Absorptionsgrössen sich ergebenden Lösungscoëfficienten diejenigen des Wassers für die entsprechenden Temperaturen um vieles übertreffen. Diese konnten offenbar für die wahren Coefficienten nicht genommen werden. Das Verfahren, dieselben aus der Zusammenstellung zweier totalen Absorptionsgrössen in zwei Versuchen an einer und derselben Flüssigkeit verschiedener und bekannter Concentration, wenn zudem der den beiden Bestimmungen entsprechende Druck gleich gross ist, konnte ebenfalls nicht benutzt werden, weil dieses Verfahren nur da anwendbar ist, wo man im voraus weiss, dass der Lösungscoëfficient demjenigen des Wassers für die entsprechende Temperatur sehr nahe liegt und wo man zu gleicher Zeit vermuthen darf, dass die Verdünnung der Flüssigkeit mit Wasser keine Aenderung in dem chemischen Bindungsvermögen der letzteren hervorbringt. Absorptionsversuche am angesäuerten Cruor konnten endlich am wenigsten benutzt werden, weil die genaue Neutralisation einer so dicken Flüssigkeit wie meine Cruorlösungen rein unmöglich ist. Lange Zeit war ich in Verlegenheit wie man zur Bestimmung dieser bei den Absorptionsversuchen unentbehrlichen Grösse gelangen kann, bis mich endlich ein Zufall auf den richtigen Weg brachte.

Gezwungen wie ich war zu meinen Versuchen Blutcruor anstatt reiner Blutkörperchenlösungen zu verwenden, wollte ich die hieraus in Bezug auf die Absorption von CO_2 entstehenden Fehlergrössen wenigstens annähernd bestimmen; und entschloss mich zu dem Ende auf eine Reihe von Absorptionsversuchen an Gemischen des Cruors mit stetig abnehmenden Mengen von Serum. Ich wollte nämlich bestimmen, bei welchen Procenten des letzteren die totalen Absorptionsgrössen keine Aenderung mehr erleiden. Glücklicherweise wurden den zwei ersten solchen Versuchen (siehe unten №№ 67 und 68) absorptiometrische Bestimmungen sowohl am Serum (№ 66) als am Cruor (№ 69) beigefügt, denn gerade dadurch war es mir möglich zu dem wahren Lösungscoëfficienten des Cruors zu gelangen. Um die Absorptionsgrössen aller 4 Versuche untereinander vergleichbar zu machen suchte ich den Absorptionsdruck überall gleich zu machen und dieses ist mir in Bezug auf den zweiten Absorptionsdruck in allen 4 Versuchen,

in Bezug auf den dritten in Versuch 67 und 68 sehr gut gelungen. Nebst dieser 4 Versuche, welche die Auffindung des Lösungscoëfficienten ermöglichen, führe ich weitere Bestimmungen an, welche die Grenze des Serumgehaltes im Cruor angeben, von welcher an die Absorptionsgrössen constant bleiben.

№	Name	V	t	p	A	Aus A berechn. Lösungscoëff.	Wahr. Lösungscoëff.	VX
66	Hundeserum	45,21	15,2°C.	592,54	37,002	1,01	0,999	10,22 ccm
				711,93	42,496	0,999		10,31 »
				829,93	47,830			10,31 »
67	1 Vol. Hundecruor +4 Vol. Hundeser.	45,21	15,2°C.	554,44	43,853	1,057	0,999	19,79 »
				715,72	51,564	1,034		19,21 »
				816,16	56,290			19,37 »
68	1 Vol. Hundecruor +2 Vol. Hundeser.	45,21	15,2°C.	546,47	46,582	1,37	0,999	21,88 »
				713,43	56,922	1,076		24,68 »
				814,48	61,838			24,93 »
69	Reines Cruor	45,21	15,2°C.	476,45	55,248	1,224	0,999	33,72 »
				711,84	68,272			36,10 »
70	7 Vol. Pferdecruor +1 Vol. Pferdeser.	50,179	15,2°C.	388,71	61,413	1,36	0,999	41,91 »
				498,67	68,929			43,91 »
71	15 Vol. Pferdecruor +1 Vol. Pferdeser.	50,179	15,2°C.	385,87	61,547	1,27	0,999	42,18 »
				500,07	68,861			43,76 »

In dem ersten dieser Versuche kann die wahre chemische Bindungsgrösse sogleich gefunden werden, weil der wahre Lösungscoefficient des Serums uns aus dem Früheren bekannt ist und dem aus A_2 und A_3 des Versuchs 66 berechneten sehr nahe steht. Die numerischen Werthe von VX sind auch in diesem Vers. mittelst $y = 0{,}999$ ausgerechnet.

Von den übrigen chemischen Bindungsgrössen wollen wir einstweilen abstrahiren und für einen Augenblick annehmen, die Lösungscoefficienten seien überall gleich. Unter solcher Voraussetzung würden die den gleichen Druckhöhen entsprechenden totalen Absorptionsgrössen offenbar nur um die chemisch gebundenen CO_2-Mengen von einander differiren können, und dementsprechend:

die Differenzen $A_2 - A_2 = 9{,}07$ in Versuch. 67 und 66
» » $A_2 - A_2 = 14{,}42$ » » 68 » 66
» » $A_2 - A_2 = 25{,}77$ » » 69 » 66

die Ueberschüsse der chemischen Bindung in Vers. 67, 68 und 69 gegen diejenige des Vers. 66 mit Serum darstellen. Letztere Grösse beträgt aber 10,3 ccm, folglich müssten die dem zweiten Absorptionsdruck entsprechenden chemischen Bindungsgrössen der Reihe nach den Zahlen

10,31
19,38
24,73
36,08

gleich sein. Ist nun unsere Voraussetzung richtig, so müssen die aus den totalen Absorptionsgrössen der Vers. 67, 68 und 69 mittelst des Coefficienten 0,999 ausgerechneten Grössen mit den soeben angeführten Zahlen über-

einstimmen, und dieses ist in der That der Fall, indem die auf diese Weise ausgerechneten Grössen den Zahlen

19,21
24,68
36,10

gleich sind.

Der Lösungscoëfficient des Cruors ist dem des Serums ziemlich gleich.

Aus diesem Grunde ist derselbe in allen später anzuführenden Versuchen gleich demjenigen des Wassers für die entsprechende Temperatur multiplicirt mit 0,999 angenommen worden.

Versuche 66—69 zeigen weiter an, dass das Cruor um so mehr CO_2 chemisch absorbirt, je reiner es von Serum ist, und zwar hängt von dieser Beimischung nicht nur die quantitative Seite, sondern auch der allgemeine Charakter der CO_2-Absorption ab. So ist in Bezug auf das Anwachsen der chemischen Bindungsgrössen mit Verstärkung des Druckes der Vers. 67 noch dem Versuche 66 am reinen Serum ähnlich, während der nächstfolgende Versuch 68 dem am reinen Cruor angestellten ganz gleich aussieht.

Hieraus ist zu schliessen, dass *in allen später anzuführenden Versuchen am verdickten Cruor* [welches doch sicher weniger Serum als das künstliche Gemisch des Versuches 68 enthält!] *der den Blutkörperchenstoffen eigene absorptiometrische Character richtig wiedergegeben ist.*

Zu den zwei letzten Versuchen 70 und 71 wurde solches Pferdeblut angewandt, in welchem, nachdem es zwei Tage lang im Eis gestanden hatte, das Volumen der Blutkörperchen 37% betrug. Das verdickte Cruor enthielt mit anderen Worten ungefähr $^1/_{10}$ seines Volumens Serum. Weitere Zusätze des letzteren im Betrage von $^1/_8$ und $^1/_{16}$ Vol. ergaben keinen merklichen Unterschied in den Absorptionsgrössen von CO_2. Folglich kann man als Regel an ehmen, dass *so wie die Mengen des dem Cruor beigemischten Serums weniger als $^1/_4$ Vol. des Cruors betragen, die CO_2-Absorption auch in quantitativer Beziehung beinahe unverändert bleibt.*

21. Indem ich nun zu den Absorptionserscheinungen an den Cruor- und Haemoglobinlösungen übergehe, brauche ich kaum zu wiederholen, dass ich bei diesen Versuchen nicht soviel die quantitative Seite der Erscheinungen als den allgemeinen Charakter der CO_2-Absorption und zwar im Vergleich mit demjenigen des Serums im Auge hatte. Dementsprechend enthält die nächstanzuführende Tab. IV nur 2 Rubriken: Einfluss des Druckes und Einfluss der Temperatur. Alle chemischen Bindungsgrössen sind mittelst der wahren (in der Tab. nicht angeführten) Lösungscoefficienten ausgerechnet, während sub *V* diejenigen angeführt sind, welche sich aus den beobachteten totalen Absorptionsgrössen ergeben. Alles übrige ist wie in den früheren Tabellen.

22. Abstrahirt man von den absoluten Grössen der chemischen Bindung von CO_2 sowohl bei mittleren als bei schwächeren Druckhöhen, so erweisen sich Cruor- und Haemoglobinlösungen in ihrem Verhalten gegen die Kohlensäure einander ähnlich oder sogar vollkommen gleich. Berücksichtigt man andererseits den Umstand, dass frisches defibrinirtes Blut ein ebensolches Verhalten gegen die CO_2 zeigt (Vers. 83 und 84), so ist kein Zweifel möglich, dass man mit *normalen* Eigenschaften der Blutkörperchenstoffe zu thun hat.

Tab. IV

№	Name	V	t	p	A	V	VX	Chem. Bind. auf 100 ccm Flüss
				Einfluss des Druckes				
72	Kalbscruor	53,15	15,2°C	471,13	55,995		30,95	58,23 ccm
				598,30	64,306	1,229	32,50	61,15 »
				675,60	69,225	1,197	33,32	62,69 »
73	»	»	»	11,65	13,16		12,54	23,59 »
69	Aufgel. Hundecruor	45,21	15,2°C	476,45	55,248		33,72	74,5 »
				711,84	68,272	1,224	36,10	81,7 »
74	Sehr dickes Hundecruor	»	»	41,44	20,475		18,6	41,1 »
	Hundehaemogl.			549,03	42,227		17,40	38,4 »
75	mit weingeisthalt. Wasser gewasch.	45,21	15,2°C	644,77	46,903	1,080	17,75	39,2 »
				773,95	53,128	1,066	18,12	40,08 »
76	Dieselbe Lösung	»	»	101,00	14,502		9,94	21,98 »
				106,98	15,161	2,438	10,33	22,85 »
	Pferdehaemogl.			420,82	61,513		40,10	75,74 »
77	mit weingeisthalt. Wasser gewasch.	53,15	16,6°C	542,29	70,137	1,336	42,46	79,88 »
78	Krystallis. Pferdecruor	53,15	16,8°C	348,79	69,130		51,35	96,61 »
				401,60	73,556	1,567	53,08	99,86 »
				450,00	77,332	1,467	54,39	102,33 »
	Ungewasch. Pferde-			321,61	73,340		56,948	107,13 »
79	haemoglobinkryst. ohne Wasserzusatz.	53,15	16,8°C	362,99	76,120	1,264	57,619	108,64 »
				419,36	82,227	2,038	60,852	114,49 »
				Einfluss der Temperatur				
80	Aufgel. Hundecruor	50,179	37°—37,5°C	49,20	17,676		16,27	32,4 ccm
			17°	23,97	19,543		18,39	36,6 »
				403,33	43,745		32,41	64,5 »
81	Aufgel. Hundecruor	50,179	37°—37,5°C	454,00	47,267	1,385	34,51	68,7 »
				514,61	50,309	1,000	35,84	70,7 »
				513,34	49,937		35,51	70,68 »
82	Dasselbe Cruor	50,179	37°—37,5°C	566,51	56,271	2,373	40,36	80,31 »
				650,97	60,873	1,085	42,58	84,71 »
				Frischer noch warmes defibrinirtes Blut[1]				
83	Kalbsblut	49,65	15,2°C	291,71	69,642		45,16	69,8 »
				333,80	62,827	1,52	46,25	71,48 »
				361,23	64,667	1,35	46,72	72,21 »
84	Hundeblut	49,65	15,2°C	319,28	50,388		34,53	57,55 »
				359,68	59,058	4,32	41,19	68,65 »
				409,05	62,145	1,25	41,83	69,71 »

Die Zusammenstellung der Absorptionserscheinungen an den Blutkörperchenstoffen mit denjenigen am Serum ergiebt Folgendes:

1) In concentrirten Lösungen absorbiren die ersteren die CO_2 in viel grösseren Quantitäten als das Serum, und dieser Ueberschuss entfällt ausschliesslich auf den chemisch gebundenen Theil des Gases, weil die wahren Lösungscoeffiecienten in beiden Flüssigkeiten einander gleich sind.

2) Nicht minder scharf unterscheiden sich das Serum und die Körper-

1 In diesen beiden Versuchen wurden die Wasserverluste in Folge des Auspumpens nicht compensirt, so dass im Versuche 83 49,65 ccm Flüss. eigentlich 64,7 ccm Blut, und im Vers. 84 dasselbe Volumen 60 ccm Blut entsprechen; diese Verminderung der Volumina wurde bei der Ausrechnung der chemischen Bindungsgrössen auf 100 ccm Blut berücksichtigt.

chenstoffe in Bezug auf diejenigen Lösungscoefficienten, welche sich aus den totalen Absorptionsgrössen ableiten lassen, d. h. in Bezug auf die numerischen Werthe von *Y*. Im Serum waren dies constante Grössen und übertrafen die Lösungscoëfficienten des Wassers für die entsprechenden Temperaturen höchst wenig, während sie hier mit der Stärke der chemischen Absorption Hand in Hand gehen (je grösser *VX*, desto grösser auch *Y*) und die Lösungscoefficienten des Wassers für die entsprechenden Temperaturen um vieles übertreffen.

3) Einen nicht weniger frappanten Unterschied zeigen ferner die chemischen Absorptionsgrössen in ihrer Abhängigkeit vom Druck. Während im Serum diese Grössen bei mittleren CO_2-Spannungen beinahe constant bleiben, zeigen sie in den Versuchen an den Blutkörperchen noch sehr deutliche Schwankungen; und zwar geht diese Abhängigkeit vom Druck mit der Stärke der CO_2-Absorption ebenfalls Hand in Hand.

4) Sehr eigenthümlich gestaltet sich endlich der Einfluss der Temperatur, indem durch ihre Erhöhung nicht so viel die absolute Grösse der chemischen Bindung als ihre Stärke geändert wird. Stellt man in der That in den Vers. 81 und 82 die numerischen Werthe von *A* mit den zugehörigen Werthen von *p* zusammen, so erweisen sich beide beinahe proportional. Die Kohlensäure ist mit anderen Worten in dem auf die Körpertemperatur erwärmten Cruor so locker gebunden, als befände sich beinahe ihre ganze Menge in rein aufgelöstem Zustande.

Somit kann ich die von Zuntz entdeckte Thatsache nur bestätigen: *die Blutkörperchenstoffe binden die Kohlensäure in der That in viel grösseren Mengen und viel lockerer als das Serum.*

Ausser diesen Thatsachen enthält die Tabelle noch ein höchst wichtiges Factum, welches ich jedoch erst später besprechen werde. Jetzt wende ich mich aber zu der Frage, ob die die Kohlensäure bindenden Stoffe der Blutkörperchen, welche in den nicht krystallisirten Cruorlösungen enthalten sind, als salzartige Verbindungen betrachtet werden können. Die Entscheidung dieser aus der Pflüger'schen Schule stammenden Frage ist insofern wichtig, als eine bejahende Antwort darauf alle die bis jetzt dargebrachten Thatsachen am einfachsten erklären und hiermit alle weiteren Versuche unnöthig machen würde.

23. Die Blutkörperchen enthalten in der That nebst Haemoglobin mit seinen Eigenschaften schwacher Säure überschüssige Alkalien; und die Menge der letzteren, dank den Analysen von Bunge[1], lässt sich leicht bestimmen. Bei der nächstfolgenden Umrechnung seiner Zahlen habe ich weder Phosphor- noch Schwefelsäure in Betracht gezogen, folglich sind die Mengen der überschüssigen Alkalien etwas höher ausgefallen, als sie eigentlich sind. Es enthalten nach Bunge.

		K_2O	Na_2O	Cl	Uebersch. K_2O	Uebersch. Na_2O
100 gr. Blutkörp. d.	Pferdebl.	0,492	0	0,193;	0,2364	0
» — »	Ochsenbl.	0,0747	0,2093	0,1635;	oder 0,0747	0,06669
» — »	Hundebl.	0,025	0,3299	0,224;	0,025	0,1344

[1] l. c.

Denkt man sich, die ganze Menge der überschüssigen Alkalien umwandle sich bei der Absorption von CO_2 in saures Carbonat, so würden:

100 gr. Blutkörp. d. Pferdebl. —85 ccm CO_2(bei 0°u. 1M. Dr. gemess.) chemisch absorbir.
» — Ochsenbl.—64 » — » — — »
» — Hundebl.—82 » — » — — »

Nimmt man weiter an, das spezif. Gew. der Blutkörperchen sei durchschnittlich=1,11;[1] so würde man auf 100 ccm Blutkörperchen der Reihe nach: 94 ccm, 70 ccm und 91 ccm CO_2 erhalten, während die an den unkrystallisirten Cruorlösungen wirklich beobachteten chemischen Bindungsgrössen (in den Vers. 71, 72 und 82) 87 ccm, 62 ccm und 84 ccm betragen.

Die von Cruorlösungen chemisch absorbirten CO_2-Mengen entsprechen also beinahe einer vollständigen Umwandlung der Blutkörperchenalkalien in saure Carbonate. Diese Thatsache liefert nun einen sehr strengen Beweis gegen die Idee der Pflügerschen Schule ab.

In der That, wenn wir oben die Voraussetzung gemacht haben, dass die überschüssigen Alkalien der Blutkörperchen sich bei der Absorption von CO_2 in saure Carbonate umwandeln, setzten wir stillschweigend voraus, dass die Alkalien eigentlich ganz frei sind; während sie in der Wirklichkeit an das Haemoglobin gebunden sein müssen. Die Haemoglobinsäure würde mit anderen Worten so schwach sein, dass ihr die Base von CO_2 beinahe vollständig entzogen wäre. Man könnte allerdings etwas Gewicht darauf legen, dass diese Entziehung doch keine vollständige ist, dass folglich die Stärke der Säure, an welche die Alkalien in Cruorlösungen gebunden sind, nicht Null ist; wie würde man aber alsdann alle die Zeichen des lockeren Gebundenseins von CO_2 in den Blutkörperchen erklären? In den mit CO_2 gesättigten concentritren $C_2NaH_3O_2$-Lösungen befindet sich der chemisch gebundene Theil von CO_2 in einem ebenso lockeren Zustande wie im Cruor; dort hat man aber zur Erklärung dieser Thatsache die durch CO_2 und Wasser in Freiheit gesetzte Essigsäure; und im Cruor sollten dieselben Erfolge durch das Freiwerden einer Säure bedingt sein, deren Stärke beinahe Null ist!

23. Dieselbe Idee gewinnt hingegen sogleich an Wahrscheinlichkeit, sowie man ihr den Zusatz macht, dass an der chemischen Absorption von CO_2 durch die Blutkörperchen noch die Zersetzung des Haemoglobins durch CO_2 mit im Spiele ist. Zu Gunsten dieser Vermuthung kann ich schlagende Versuche mit der Ansäuerung des Cruors anführen, welche ich noch im Anfange dieser Untersuchung und zwar in der Hoffnung anstellte, den wahren Lösungscoëfficienten des Cruors zu finden.

Zur Bereitung der Cruorlösung benutzte ich in diesen Versuchen den ganzen Blutkörperchenabsatz aus 1000 ccm Pferdeblut, welcher dem Volumen nach 40% betrug, und somit etwas weniger Alkalien (wegen der Verunreinigung mit alkaliärmerem Serum) als reine Blutkörperchenlösungen enthielt. In dem Absorptionsversuche vor der Ansäuerung (siehe unten № 85) wurde die dritte chemische Absorptionsgrösse mittelst des kleineren Y (Y=1,191) gleich 32 ccm CO_2 (auf 0° und 1 M. red.) auf 45,62 ccm Cruor ausgerechnet. Die zweite Portion desselben Cruors wurde hierauf

[1] Diese Zahl entspricht der Annahme, dass in 100 Vol. Blut von 1,055 sp. Gew. die Blutkörperchen 30 Vol. einnehmen und dass das sp. Gew. des Serums 1,03 gleich ist.

mit der der chemisch absorbirten CO_2 aequivalenten Menge Schwefelsäure [etwas über 37 ccm $^1/_{10}$ normaler SH_2O_4-Lösung auf 45,62 ccm. Cruor] unter starkem Umrühren der Flüssigkeit angesäuert. Bei dem Säureeingiessen verdickte sich stellenweise das Cruor in rothbraune Klumpen, sie verschwanden jedoch mit dem Fortschreiten des Auspumpens gänzlich, so dass nach Beendigung dieser Operation die Flüssigkeit vollkommen gleichmässig war und alle die dem ausgepumpten normalen Blute eigenen Charaktere darbot. Bei dem Absorptionsversuche (№ 86) erwies sich die Ansäuerung ungenügend: die 3. mit dem 2. *Y* ausgerechnete chemische Bindungsgrösse betrug 10 ccm CO_2, d. h. fast $^1/_3$ der vorherigen Absorptionsgrösse. Aus diesem Grunde wurde die dritte Portion des Cruors mit anderthalb soviel Säure wie in dem Vers. 86 versetzt; und nun verschwand die chemische Bindung von CO_2 beinahe gänzlich (Vers. 87). Am nächsten Tage wurde der Vers. 87 nochmals und zwar mit demselben Erfolge wiederholt (№ 88).

№	Name	*V*	*t*	*p*	*A*	*Y*	*YX*
85	Pferdecruor vor der Ansäuerung	45,62	15,2°C.	449,79 520,11 632,02	56,024 59,845 66,445	1,191 1,293	32,11
86	Dasselbe Cruor unger. angesäuert	»	»	577,25 652,06 775,75	38,606 42,354 48,445	1,098 1,079	10,25
87	Anderthalb so viel Säure	»	»	625,45 694,07 808,28	31,721 34,945 40,341	1,029 1,035	2,09
88	Weiderholung. Vers. 87	»	»	622,80 691,41 808,33	31,812 35,088 40,499	1,046 1,008	3,27

Wollte man in diesen Versuchen die Abnahme der chemischen Bindungsgrössen nur als Folge der Neutralisation von Alkali betrachten, so würde die erste ungenügende Ansäuerung einer Neutralisation von 0,172 gr. K_2O auf 45,62 ccm. Cruor, die zweite einer Neutralisation von 0,258 gr. K_2O auf dasselbe Vol. Flüssigkeit entsprechen; und da durch letztere die chemische Bindung nicht ganz vernichtet war, so würde bei solcher Auffassungsweise der Alkaligehalt im Cruor 0,565 gr. K_2O auf 100 ccm Flüssigkeit übertreffen! Die zugesetzte Säuremenge war offenbar zu gross um nur K_2O zu neutralisiren—sie musste augenscheinlich noch andere chemische Umsetzungen verrichtet haben.

Diese im rein chemischen Sinne zu eruiren ist mir, wegen der Vergänglichkeit des im angesäuerten Cruor sich bildenden krystallinischen Körpers allerdings nicht gelungen; die äusseren Merkmale desselben sind jedoch solcher Art, dass man keinen Augenblick an einer gründlichen Umänderung des Haemoglobins, und zwar nicht im Sinne seiner Spaltung in Haematin und Albuminstoff, zweifeln kann. Nur muss man bei der Operation der Ansäuerung auf die gleich zu beschreibende Weise verfahren.

Nimmt man zu den Versuchen dickes aufgelöstes oder auch krystallisirtes Pferdecruor, welches bei der Zimmertemperatur durchschnittlich 100 ccm CO_2(auf 0° und 1 M. red.) auf 100 ccm Flüssigkeit chemisch

absorbirt, so muss dasselbe wenigstens (eher etwas mehr) mit der dieser Bindungsgrösse aequivalenten Menge Schwefelsäure versetzt werden.[1] Die Ansäuerung muss in demselben Gefässe geschehen, in welchem das Cruor nachher ausgepumpt wird. Die Säure ist im diluirten Zustande zu gebrauchen und muss bei starkem Umrühren oder Schütteln des Cruors in raschen Tropfen zugesetzt werden. Nach Beendigung der Ansäuerung bietet die Flüssigkeit alle üblichen Zeichen der Zersetzung des Blutroths in Haematin dar, indem sie in gelatinöse Klumpen von braunröthlicher Färbung sich verdickt. *Alle diese Zeichen verschwinden jedoch gänzlich, wenn die Flüssigkeit gleich nach dem Ansäuern ausgepumpt wird.* Im entgasten Zustande sieht dieselbe ganz wie normales von Gasen befreites Cruor aus; erweist sich sogar viel dünnflüssiger als sie vor dem Ansäuern war; filtrirt durch das Papier gewöhnlich wie Wasser; zeigt bei der spectroscopischen Untersuchung Oxyhaemoglobinstreifen, und krystallisirt bei gewöhnlicher Temperatur in sehr dünnen, grüngefärbten (im durchfallenden Licht), rhombischen Tafeln, welche in makroscopischen Haufen eine ziegelrothe Färbung besitzen. Nicht selten beginnt die Krystallisation schon bei dem Filtriren der Flüssigkeit gleich nach dem Auspumpen, wobei die Krystalle sich an der Oberfläche in Form von Häutchen bilden. Unter dem Mikroscope mit Wasser versetzt zersetzten sie sich sehr rasch und hinterlassen eine flockige Masse. In eiskaltem Wasser sind die Krystalle sehr wenig löslich und halten sich Minutenlang unzersetzt auf.

Nach allen diesen Merkmalen zu urtheilen, das indifferente Verhalten des angesäuerten Cruors zu CO_2 mitgerechnet (und zwar im Gegensatz zu den unveränderten Haemoglobinlösungen!) hat man unzweifelhaft mit einer Umsetzung des normalen Haemoglobins zu thun, welche jedoch viel schwächer als die bekannte Spaltung dieses Körpers unter dem Einflusse der Säuren ist, und als solche auch der Kohlensäure zugemuthet werden könnte. In letzterer Beziehung besitze ich übrigens eine alte Beobachtung[2], welche jeden Zweifel ausschliesst, indem sie nämlich zeigt, dass man an verdünnten Blutlösungen mittelst comprimirter (zu 2 Atmosph.) CO_2 absolut dasselbe erzielen kann (bierähnliche Färbung und Bildung eines Niederschlages), was durch die Einwirkung der stärkeren Säuren im verdünnten Zustande sich erreichen lässt; mit dem einzigen Unterschiede jedoch, dass die Umänderungen des Haemoglobins unter dem Einflusse von CO_2, wegen

[1] Auf 100 ccm solchen Cruors nahm ich gewöhnlich 12 ccm normaler SH_2O_4-Lösung (49 gr. auf 1 L und verdünnte sie mit einem 4-fachen Volumen Wasser).

[2] Setschenow, Ueb. d. Absorptiometrie, in Pfl. Arch. Bd. VIII.—Bei dieser Gelegenheit muss ich einer in dieser Abhandlung richtig beobachteten, aber falsch interpretirten Thatsache bezüglich der Einwirkung von CO_2 auf das chemische Absorptionsvermögen des Cruors erwähnen, um so mehr als die Interpretation in einige von den neuesten Lehrbüchern der Physiologie übergangen ist. Die Versuche 16 und 22, 23 und 24 (l. c. pp. 27 u. 28) haben nämlich nur gezeigt, dass in verdünnten Cruorlösungen, nachdem sie mit comprimirter CO_2 gesättigt und vom Niederschlage abfiltrirt waren, die aus den totalen Absorptionsgrössen sich ergebenden Lösungscoefficienten an Grösse stark abnehmen. Da mir aber zu jener Zeit die Ursache nicht bekannt sein konnte—sie wurde erst aus den um 2 Jahre späteren Versuchen an Salzlösungen klar,—warum die berechneten Lösungscoefficienten des Cruors diejenigen des Wassers übertreffen, so betrachtete ich die mittels dieser unwahren Coefficienten ausgerechneten Zahlenwerthe als wahre chemische Bindungsgrössen und kam ganz logisch zu dem Schlusse, dass im Cruor in Folge seiner Zerset-

der Flüchtigkeit und Schwäche dieser Säure, nicht dauerhaft sind und unter geeigneten Bedingungen (z. B. bei der Entgasung der Flüssigkeit) leicht verschwinden. Jedenfalls bürgt diese Analogie dafür, dass *die Kohlensäure bei ihrer Absorption durch Cruorlösungen das Haemoglobin zersetzt und dass diese Wirkung mit derjenigen der Schwefelsäure im Grunde identisch ist.*

Sie wirkt allerdings schwächer als SH_2O_4, denn die zweite Neutralisation des Cruors im Vers. 87 entspricht einer chemischen Absorption von 48 ccm CO_2, während die wahre chemische Bindungsgrösse des nicht angesäuerten Cruors im Vers. 85, d. h. die mittelst des wahren Lösungscoefficienten ausgerechnete, nur 34,3 ccm beträgt. Dieser Unterschied enthält jedoch nichts Unerwartetes in sich, da die Zersetzung des Haemoglobins durch Säuren mit Bildung saurer Producte verbunden sein muss; der Unterschied ist im Gegentheil willkommen, als Zeichen, dass die Zersetzung mit Widerständen verbunden ist, dass folglich die von Haemoglobin absorbirte CO_2 als abhängig vom Druck im lockeren Zustande sich befinden muss.

24. Bezüglich der Rolle der Blutkörperchenalkalien bei der Absorption von CO_2 ist folgendes ermittelt worden.

Nachdem ich mich durch directe Absorptionsversuche überzeugt habe, dass reine Haemoglobinlösungen CO_2 chemisch absorbiren, benutzte ich die erste Gelegenheit, wo aus dem dicken aufgelösten Pferdecruor Haemoglobinkrystalle sich massenhaft ausgeschieden haben und den Boden des Gefässes als ein dicker Brei einnahmen, um zu erfahren ob die Kohlensäure von diesem alkaliärmeren krystallinischen Brei oder von der alkalireicheren Mutterflüssigkeit stärker absorbirt wird. Zu dem Ende habe ich die letztere vorsichtig abgezapft und da ihre Menge zu dem Absorptionsversuche nicht ausreichte, wurde zu der Flüssigkeit noch etwas von dem Krystallbrei aus dessen oberen Schichten zugesetzt. Der Absorptionsversuch mit diesem Cruor ist in der Tab. IV sub № 78 angeführt. Der nächstfolgende 79 ist der paarige am krystallinischen Brei allein angestellte. Vergleicht man die chemischen Absorptionsgrössen beider Versuche, so sieht man gleich, dass die alkaliärmere und haemoglobinreichere Flüssigkeit mehr CO_2 gebunden hat. Der Unterschied wäre unzweifelhaft noch stärker ausgefallen, enthielte die Mutterflüssigkeit des Vers. 78 keine Haemoglobinkrystalle.

Diese Beobachtung veranlasste mich eine Reihe von Absorptionsver-

---

zung durch CO_2 das chemische Absorptionsvermögen für dieses Gas zunimmt. Der Schluss war für mich um so willkommener, als man durch denselben eine andere ebenfalls ganz richtig beobachtete, zu jener Zeit aber sehr sonderbar aussehende Thatsache erklären konnte, warum die (unwahren) Lösungsoëfficienten der CO_2 mit Steigerung der Concentration des Cruors nicht ab-, sondern zunehmen. Der Endschluss, dass die Zersetzung des Haemoglobins durch CO_2 mit einem Auftreten neuer chemischer Affinitäten in demselben verbunden sein müsse war hiermit zu jener Zeit ganz unvermeidlich. Nun gewinnt aber die oben angeführte Beobachtung einen ganz anderen Sinn: die aus den totalen Absorptionsgrössen berechneten und einen Teil der locker (chemisch) gebundenen CO_2 mitenthaltenden Lösungscoefficienten nahmen deshalb an Grösse ab, weil die Lösung an demjenigen Stoffe ärmer geworden ist (d. h. an dem Haemoglobin), welcher an und für sich die CO_2 locker bindet und zugleich als schwache Säure in der salzartigen Verbindung des Haemoglobins mit Alkali fungirt; letztere musste mit anderen Worten einen weniger sauren Charakter annehmen und als solche die CO_2 nicht mehr so locker wie früher binden.

suchen an Gemischen des Cruors (eines und desselben) mit verschiedenen Mengen des in flüssiger Form zugesetzten CNa_2O_3 anzustellen.

№	Name	V	t	p	A	Y	VX
89	Reines Pferdecruor	50,179	15,2°C.	344,01 444,65	67,796 75,228	1,00	50,53 52,91
90	80 ccm Cruor + 0,016 gr. CNa_2O_3	»	»	348,70 462,59	64,617 72,944	»	47,12 49,73
91	80 ccm Cruor + 0,033 gr. CNa_2O_3	»	»	396,39 536,23	69,085 78,781	»	49,19 51,87
92	80 ccm Cruor + 0,067 gr. CNa_2O_3	»	»	329,44 436,96	71,402 79,717	»	54,87 57,79

Da die Ergebnisse dieser Versuche höchst auffallend sind, so muss ich am allerersten ausdrücklich bemerken, dass letztere in allen Beziehungen mit der äussersten Sorgfalt angestellt waren, so dass ich keinen Augenblick an der Richtigkeit ihrer Angaben zweifle. Das Eigenthümliche dieser Versuche besteht erstens darin, dass während die zwei geringeren Zusätze von CNa_2O_3 das chemische Absorptionsvermögen des Cruors erniedrigt haben, der letzte stärkere dasselbe in die Höhe trieb; und zweitens dass die Erscheinungen in den Vers. 90 und 91 durch so geringe Mengen von CNa_2O_3 hervorgebracht sind.

Der letzte Umstand ist bei dem ersten Anblick allerdings auffallend, bietet jedoch nichts Unerwartetes dar. Preyer (Die Blutkrystalle, Jena, 1871, S. 67—68) hat schon längst gefunden, dass die für eine vollständige Umwandlung des Haemoglobins in Haemoglobinat erforderlichen Alkalimengen verhältnismässig sehr gering sind (auf 1 gr. Haemogl. durchschnittlich 0,0238 gr. Natriumcarbonat). Ich meinerseits habe in dem vorigen § Thatsachen angeführt, aus welchen hervorgeht, dass grosse Mengen von Haemoglobin durch verhältnismässig geringe Quantitäten SH_2O_4 ihrer Fähigkeit CO_2 zu binden beraubt werden [auf 100 ccm verdicktes Pferdecruor, welche doch sicher über 20 gr. trockenes Haemoglobin enthalten, sind dafür nur 0,6 SH_2O_4 erforderlich]. Folglich ist die Erscheinung durch das hohe Aequivalentgewicht des Haemoglobins zu erklären.

Was aber die sonderbaren Aenderungen der chemischen Absorption unter dem Einflusse der Alkalien anbelangt, so können dieselben, wie ich glaube, nur durch die Annahme erklärt werden, dass die Alkalien auf das chemische Absorptionsvermögen der Haemoglobinlösungen zwei entgegengerichtete Einflüsse ausüben, von denen der eine bei geringeren der andere bei stärkeren Zusätzen die Oberhand nimmt. Eine Seite dieses Vorganges lässt sich mit Bestimmtheit angeben: Alkalizusätze zu den ohnedies alkalischen Cruorlösungen müssen das Quantum der von Seite der Flüssigkeit auf CO_2 ausgeübten Anziehungen vergrössern, denn CNa_2O_3, nachdem es im Cruor die Umwandlung erlitten hat, doch sicher nicht in eine gegen CO_2 indifferente Verbindung übergeht, sondern höchstens die Form eines Salzes mit schwacher Säure annimmt. Dieser Einfluss muss also überhaupt die chemische Absorption von CO_2 durch die Flüssigkeit befördern. Zur Erklärung des anderen entgegengesetzt wirkenden Momentes haben wir hingegen

mit Ausnahme der obigen Beobachtung, welche zudem nicht ganz rein ist [1], gar keine Thatsachen; deshalb mögen die Schlussworte des nächstfolgenden Satzes vorläuffg als eine Hypothese gelten.

Wenn reines Haemoglobin mit Alkali zusammentrifft, so übernimmt es in der neu entstandenen Verbindung (Alkalihaemoglobinat) die Rolle einer schwachen Säure, *mit Beibehaltung seiner früheren Eigenschaft, nur in etwas geschwächtem Grade,* CO_2 *zu binden* (oder was dasselbe ist, von diesem Gase zersetzt zu werden). Durch diese einzige und wie ich glaube nicht unwahrscheinliche Annahme lässt sich nun alles in den Versuchen 89—92 erklären.—Kommt ein solches Haemoglobinat mit CO_2 zusammen, so wird es durch die letztere auf zweifache Weise zersetzt: als Salz mit schwacher Säure—neuer Moment, welcher bei der Reaction des reinen Haemoglobins mit CO_2 nicht existirte!—und als eine Verbindung, in welcher die Säure an und für sich zersetzbar ist—alter Moment, welcher der Reaction des reinen Haemoglobins mit CO_2 sogar in stärkerem Grade eigen war! Je geringer ferner die Alkalimengen sind, welche mit gleich grossen Quantitäten Haemoglobin reagiren, desto stärker muss an den Haemoglobinaten der saure Charakter ausgesprochen sein, *desto weniger* CO_2 *können letztere als salzartige Verbindungen absorbiren,*—desto kleiner fällt derjenige Teil der chemisch gebundenen CO_2 aus, welcher die in Folge der Umwandlung des Haemoglobins in das Alkalihaemoglobinat entstehenden Deficite der chemischen Absorption zu decken im Stande wäre. Mit Umkehr der Verhältnisse können auch die Erfolge einen entgegengesetzten Charactker annehmen, wenn nämlich die genannten Deficite durch die verstärkte Absorption von Seite der weniger sauer gewordenen Haemoglobinate übercompensirt werden.

25. Das Wesentliche der soeben beschriebenen Versuche besteht übrigens nicht in diesen feinen Details, sondern in der concreten Thatsache, dass in Folge geringer Zusätze von Alkalien zu den ohnedies schon alkalihaltigen Haemoglobinlösungen das chemische Absorptionsvermögen der letzteren deutliche Schwankungen erleidet, und zwar nicht nach oben sondern nach unten, wie es die Versuche 78 und 79, 89, 90 und 91 übereinstimmend gezeigt haben. Es fliessen nämlich aus dieser Thatsache zwei Schlüsse heraus, welche mit einander im Widerspruche zu stehen scheinen. Das Sinken des chemischen Absorptionsvermögens des Haemoglobins in Folge geringer Alkalizusätze scheint einerseits dafür zu sprechen, dass man die überwiegende Rolle in der chemischen Absorption von CO_2 durch die Blutkörperchen der Zersetzbarkeit des Haemoglobins unter dem Einflusse von CO_2 zuschreiben muss, wofür es scheinbar bequemer wäre, das normale Blutroth als Haemoglobin zu betrachten]. Andererseits deuten aber die Versuche auf eine sehr grosse Empfindlichkeit dieses Körpers gegen die Alkalien hin. Glucklicherweise ist es sehr leicht zu zeigen, und zwar ohne Zuflucht zu den Hypothesen, dass dieser Widerspruch nur scheinbar ist.

Zu dem Ende will ich alle für den Beweis erforderlichen Annahmen

---

[1] Der quantitative Unterschied in den absorbirenden Flüssigkeiten der Vers. 78 und 79 belief sich in der That nicht auf das Akali oder das Haemoglobin allein, sondern auf beide Bestandtheile zugleich.

im ungünstigen Sinne übertreiben, und dem entsprechend den Alkaligehalt meiner Pferdecruorlösungen demjenigen der reinen Blutkörperchen nach Bunge gleich setzen, d. h. 0,26 gr. K_2O auf 100 ccm Cruor. Diese ganze Menge sei ferner an Haemoglobin gebunden und die Quantität des letzteren im trockenen Zustande betrage auf 100 ccm Cruor nur 20 gr. Diese Haemoglobinmenge würde nach Preyer zu ihrer Umwandlung in das Haemoglobinat mehr wie 0,3 gr. K_2O verlangen; und da die vorhandene Alkalimenge kleiner ist, würde das normale Blutroth ein saures Albuminat darstellen, was auch der Wirklichkeit entspricht, insofern die Blutkörperchen CNa_2O_3 zu zersetzen im Stande sind. Die genuine Verbindung «Haemoglobin+Alkali» würde hiermit bei ihrem Zusammentreffen mit CO_2 auf zweifache Weise reagiren: als ein Salz mit schwacher Säure und als eine Verbindung, deren Säure durch CO_2 zersetzbar ist. Die Reaction ersterer Art kann offenbar keine starke chemische Absorption von CO_2 zur Folge haben, denn: erstens ist die Haemoglobinsäure so stark, dass sie im reinen Zustande die Carbonate im Vacuo sogar bei 0° zersetzen kann; zweitens ist diese Säure in der salzartigen Verbindung von vornherein im Ueberschusse vorhanden. Im Serum sind die Bedingungen für die entsprechende Reaction viel günstiger, da die Säure der salzartigen Verbindung hier weder so stark noch im Ueberschusse vorhanden ist; und doch sahen wir die Kohlensäure dieser Verbindung weniger wie die Hälfte ihrer Base entziehen können. In den Blutkörperchen muss also die entsprechende Grösse sicher viel kleiner sein (um wieviel kleiner, lässt sich zur Zeit nicht bestimmen). Bedenkt man nun, dass die Cruorlösungen so viel CO_2 binden, als wäre ihre chemische Absorption durch die Umwandlung der Körperchenalkalien in saures Carbonat bedingt, so folgt aus der soeben angeführten Zusammenstellung der Absorptionsverhältnisse im Serum und den Blutkörperchen ohne Weiteres, dass mehr wie die Hälfte der durch das Cruor chemisch gebundenen CO_2 auf die Reaction dieses Gases mit dem Haemoglobin und der Rest auf die Reaction der CO_2 mit dem Haemoglobinsalze ankommt. Bedenkt man endlich, dass wir zu diesem Resultate trotz einer absichtlichen Uebertreibung aller Verhältnisse im ungünstigen Sinne gelangt sind, so kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, dass *die überwiegende Rolle in der chemischen Absorption von* CO_2 *durch die Blutkörperchen dem Haemoglobin als einem durch dieses Gas zersetzbaren Körper zukommt; dass die Kohlensäure*, mit anderen Worten, *hauptsächlich in jenem Körper locker fixirt wird, welcher zu gleicher Zeit die Fähigkeit besitzt Sauerstoff locker zu binden.*

In letzterer Form hat der Schluss eine hohe physiologische Bedeutung.

26. Jetzt komme ich zur letzten in dieser Untersuchung gestellten Frage hin, inwiefern nämlich alle diese an den Bestandtheilen des geronnenen Blutes gesammelten Erfahrungen auf diejenigen des normalen übertragen und hiermit physiologisch verwerthet werden können.

Der zu diesem Ziele führende Weg liegt ganz klar zu Tage; es müssen hierfür alle die Gerinnung des Blutes begleitenden chemischen Umsetzungen der Stoffe von Seite ihres möglichen Einflusses auf die CO_2-bindenden Substanzen und zwar in zwei Richtungen untersucht werden: inwiefern nämlich durch diese Einflüsse der allgemeine Charakter der CO_2-Absorption und die quantitative Seite der letzteren umgeändert wird.

Es ist ferner von selbst einleuchtend, dass alle diese Einflüsse nur als mehr oder weniger starke Umänderungen der schon vorhandenen Eigenschaften der Körper, keineswegs als eine Schöpfung neuer Qualitäten in denselben aufzufassen sind; denn die die Blutgerinnung begleitenden chemischen Umsetzungen sind bekanntlich nicht so intensiv, um die CO_2-bindenden Stoffe durchweg ändern zu können. Alle jene zahlreichen Erfahrungen im Gebiete der Physiologie und der menschlichen Pathologie, wo grosse Mengen des normalen Blutes durch entsprechende Quantitäten des defibrinirten ohne Schaden für die Functionen einzelner Organe oder gar für das Leben ersetzt werden konnten, sprechen ganz unzweideutig dafür.

Nicht minder klar ist es endlich, dass von allen diesen Einflüssen nur diejenigen berücksichtigt werden müssen, welche irgendwelche Wirkung entweder auf die Globulinsubstanzen, das Haemoglobin mitgerechnet, oder auf die Alkalien des Blutes ausüben können, denn nur diese Stoffe dürfen als CO_2-bindende Substanzen betrachtet werden.

Bei solcher allgemeinen Auffassung der Aufgabe haben wir in Bezug auf die Blutkörperchen nur den in meinen Versuchen anomalen aufgelösten Zustand derselben und die von Zuntz in diesen Körpern während der Blutgerinnung entstehende Säuerung,—und für das Plasma: 1) die auch hier stattfindende Entwickelung der Säure, 2) die durch die Fibrinbildung bedingte Abnahme der Globuline und 3) die aus dem Zerfall der weissen Blutkörperchen entstehende Zunahme der Globuline—zu berücksichtigen.

Erst will ich die Erscheinungen am Plasma besprechen.

27. Bei meiner Auffassung der Absorptionsverhältnisse der CO_2 im Serum lässt sich der Einfluss einer schwachen Ansäuerung der Flüssigkeit—die Entwickelung der Säure im gerinnenden Plasma ist bekanntlich sehr schwach!—sehr leicht vorausbestimmen: die Säure muss der Globulinverbindung einen Theil ihrer Base entziehen und das Globulin an und für sich umsetzen; beide Momente müssen ferner ganz übereinstimmend wirken, nämlich die chemische Absorption von CO_2 erniedrigen, ohne jedoch den Charakter derselben merklich zu ändern. Alle Ansäuerungsversuche des Serums, deren ich sehr viele gemacht habe, bestätigen das soeben Gesagte auf das augenscheinlichste, und am allerstärksten diejenigen von ihnen, wo das Serum trotz seiner deutlich sauren Reaction die Fähigkeit behält Kohlensäure chemisch [und auch jetzt abhängig von Druck] zu binden. Diese Erscheinung ist offenbar nur dadurch zu erklären, dass die Alkalien im ausgepumpten Serum nicht frei sind und dass es neben ihnen andere Stoffe giebt, welche die überschüssige Säure in sich aufnehmen können. Als Belege mögen folgende Beispiele angeführt werden.

№	V	t	p	A	Y	VX	Beding. d. Vers.
93	45,21	15,2°C.	616,35 718,10 842,97	30,614 35,404 42,285	0,99	3,03 3,26 4,55	Hundeserum mit SH_2O_4 bis z. Verbl. d. saur. React. neutral.
94	45,21	15,2°C.	618,90 728,61 848,31	31,886 36,820 42,261	0,99	4,18 4,21 4,30	Dasselbe Serum ebenso mit A behandelt.
95	41,93	15,2°C.	535,45 622,22 723,96	30,518 34,081 38,539	0,99	8,29 8,26 8,50	Pferdeserum mit SH_2O_4 ungenügend angesäuert.

Es ergiebt sich aus diesen Versuchen in Bezug auf unsere Aufgabe folgendes: insofern in allen die quantitative Seite der CO_2-Absorption betreffenden Versuchen das Blut bei 0° gerann, konnte die Entwickelung der Säure im Serum nur so gering sein, dass die hieraus entspringende Abweichung des Absorptionsvermögens des Serums von demjenigen des Plasma vernachlässigt werden kann.

Die Ansäuerungsversuche des Serums gewinnen jedoch noch eine andere Bedeutung, wenn man deren Erfolge vom Standpunkte meiner Hypothese auffasst: sie legen nämlich den Grund ab, warum die Thiere verhältnismässig grosse Mengen von Säuren ohne Schaden für die Respiration ertragen können, wie es ferner möglich ist, dass die eingeführten Säuren im alkalischen Blute in quasi-freiem Zustande circuliren, und wie es endlich geschehen kann, dass sie trotzdem dem Thierkörper Alkalien entziehen.

Die Wirkung der beiden übrigen die Mengen von Globulinen beeinflussenden Momente lässt sich dank den neuesten Untersuchungen von Hammarsten über die Globuline[1] des Blutes ebenfalls bestimmen. Von seinen Angaben sind für uns folgende maassgebend:

1) ist das filtrirte Plasma des Pferdeblutes an Globulinen stets etwas reicher als das Serum—durchschnittlich im Verhältnisse von 10 zu 9; und

2) kommt dieses dadurch zu Stande, dass der Verlust des Serums an Fibrinogen in Folge der Blutgerinnung grösser ist als sein Gewinn an Paraglobulin in Folge des Zerfalls der weissen Blutkörperchen.

In drei von diesem Forscher untersuchten Fällen erhielt er folgende Zahlen für den Globulingehalt in 100 ccm Flüssigkeit.

Plasma	Serum
4,87%	4,483%
4,35%	4,167%
4,25%	3,855%

Die Menge des Fibrinogens in den Globulinen des Plasma betrug durchschnittlich etwas mehr wie $^1/_{10}$ der ganzen Globulinmenge, nämlich 0,32%; 0,416% und 0,455%.

Auf Grund dieser Angaben kann man mit Bestimmtheit behaupten, dass das Plasma, als eine globulinreichere Flüssigkeit, mehr CO_2 binden muss, als das Serum; besonders darum, weil die fibrinogene Substanz ihrem Verhalten gegen CO_2 nach zu den schwer von diesem Gase zersetzbaren Globulinen zuzurechnen ist, d. h. zu denjenigen Stoffen, welche bei der chemischen Absorption von CO_2 die Hauptrolle spielen. Dementsprechend sind die Mengen der chemisch gebundenen CO_2 im Serum bei dem Uebertragen der Absorptionsverhältnisse von hier auf das Plasma mit $^{10}/_9$ zu multipliciren.

28. Was endlich die anomalen Zustände der Blutkörperchen anbelangt, in welchen dieselben von mir untersucht waren, so brauche ich die aus den oben angegebenen beiden Anomalien entspringenden quantitativen Umänderungen in den Absorptionsverhältnissen gar nicht zu berücksichtigen, da der Antheil der Blutkörperchen in der physiologischen Bindung von CO_2 durch das normale Blut, von mir nicht direct, sondern indirect berechnet

[1] l. c.

wird. Es genügt somit für unsere Zwecke bloss zu wissen, ob beide Anomalien so stark sein können, dass man ein wesentlich anderes Verhalten der normalen Blutkörperchen gegen die Kohlensäure erwarten dürfte.

In Bezug auf die Anomalie der Säureentwickelung muss die Frage augenscheinlich mit nein beantwortet werden;—wir wissen ja aus directen Versuchen, dass die Blutkörperchenstoffe nach geschehener Gerinnung—wenn sie also schon angesäuert sind—noch sehr starke Ansäuerungen ertragen können, ohne ihren absorptiometrischen Character einzubüssen. Ebenso leicht ist die Frage bezüglich der Anomalie des aufgelösten Zustandes der Blutkörperchen in meinen Versuchen zu beantworten. Man vergleiche hierzu die von mir für das aufgelöste Pferdecruor gefundenen Werthe der chemischen CO_2-Absorption mit der entsprechenden Grösse, welche Zuntz im Cruor mit unzerstörten Körperchen nach der Sättigung der Flüssigkeit mit CO_2 erhielt [1]. Bei mir betragen diese, mittelst des Coefficienten des Wassers multiplicirt mit 0,99 berechneten, Grössen durchschnittlich 100 ccm CO_2 auf 100 ccm. Cruor (dickeres als bei Zuntz; bei Zuntz ist die entsprechende mittelst des Coefficienten des Wassers erhaltene Grösse gleich 97 ccm CO_2).

Hiermit sind wir zu dem allgemeinen Schlusse geführt, dass *beide entsprechende Bestandtheile des normalen und des geronnenen Blutes sich gegen die Kohlensäure im Grunde ganz gleich verhalten müssen. Der Unterschied in ihrem Verhalten ist vielmehr rein quantitativer Natur; und zwar wirken alle die die Blutgerinnung begleitenden Einflüsse übereinstimmend dahin, das chemische Absorptionsvermögen für* CO_2 *sowohl im Plasma als in den Blutkörperchen zu erniedrigen.*

29. Mit Hilfe dieses Schlusses, welcher eigentlich durch die ganze vorliegende Untersuchung bewiesen ist, und bei der Möglichkeit die chemischen Bindungsgrössen des Serums vermittelst der Zahlen von Hammarsten auf diejenigen des Plasma zu corrigiren, ist es nun leicht die Frage über die Vertheilung der CO_2 zwischen den Bestandtheilen des normalen Blutes und ihren Zustand in denselben zu entscheiden.

Ehe ich jedoch zu diesem Gegenstande übergehe, muss noch ein Absorptionsversuch mit den weissen Blutkörperchen angeführt werden, um den Antheil auch dieser Elemente des Blutes in der Bindung von CO_2 schätzen zu können.

Zu diesem Versuche wurden die weissen Körperchen von 1000 ccm geschlagenen Pferdeblutes—und zwar der grösste Theil derselben, aber leider mit ziemlich viel Cruor—vorsichtig abgezapft und mit einem höchst reinen Pferdeserum zu einem Volumen von 80 ccm versetzt. Somit enthielt die Flüssigkeit eine bedeutend grössere Menge farbloser Elemente als das Plasma; auch sah sie trotz des rothen Schimmers grau-weiss und sehr trübe aus. Diese Menge will ich absichtlich etwas niedriger schätzen und sie in Vergleich mit dem normalen Gehalt nur 6 Mal grösser annehmen. Die Flüssigkeit enthielt ausserdem noch so viel rothe Körperchen, dass die chemische Absorptionsgrösse durch diese Verunreinigung wenigstens um 2% erhöht werden musste (auf Grund der Versuche 1 und 6).

[1] Inaug. Diss. p. 38. Vers. 4.

№	V	t	p	A	Y	VX auf 100 ccm Flüss.
			560,10	46,083		31,25
96	53,15	15,2°	644,37	50,593	0,99	31,40
			779,51	58,521		32,94

Zieht man von den chemischen Absorptionsgrössen der letzten Spalte den auf die Verunreinigung der Flussigkeit mit rothen Körperchen ankommenden Theil von CO_2 ab, so erhält man eine beinahe dem normalen Serum gleiche chemische Absorption dieses Gases.

Die weissen Körperchen können mit anderen Worten in ihrer normalen Menge keinen merklichen Einfluss auf die Absorption von CO_2 ausüben.

Die Kohlensäure ist hiermit im normalen Blute nur zwischen Plasma und rothen Blutkörperchen zu vertheilen.

Früher, wo man von dem Zustande der CO_2 im Plasma keine klare Vorstellung hatte, konnte man noch bei der Idee stehen bleiben, dass dieses Gas nur im Plasma und nur in chemisch gebundenem Zustande enthalten sein müsse; jetzt ist aber eine solche Vorstellung principiell unmöglich geworden. So wie die Thatsache einmal festgestellt ist, dass das Plasma die Kohlensäure abhängig vom Drucke bindet, ist zugleich damit gegeben, dass die chemischen Absorptionsgrössen von CO_2 in dieser Flüssigkeit sich gegen die Schwankungen des Druckes ganz ebenso wie die Lösungsgrössen eines beliebigen Gases in beliebiger Flüssigkeit verhalten müssen. Durch diese Thatsache verwischt sich mit anderen Worten jeder Unterschied zwischen den Crössenschwankungen des chemisch gebundenen und anfgelösten Gases in Folge der gegebenen Schwankungen des Druckes. Hat somit die CO_2 auf das Plasma allein zu wirken, so geht der Process nicht etwa so vor sich, dass CO_2 erst die stärkeren chemischen und dann die schwächeren physikalischen Anziehungen sättigt,—beide Vorgänge gehen im Gegentheil zu einer und derselben Zeit, weil die Anziehungen gleichwerthig sind, oder genauer—weil die chemischen Anziehungen nicht unendlich gross sind im Vergleich mit den physikalicshen. Dasselbe Raisonnement auf den physiologischen Fall übertragen, wo die Kohlensäure auf ein Gemenge von Plasma mit Blutkörperchen zu wirken hat, ergiebt ohne Weiteres, dass hier das Gas zu einer und derselben Zeit sowohl den chemischen als den physikalischen Anziehungen beider Bestandtheile zu folgen hat; dass es also zu einer und derselben Zeit sowohl von dem Plasma als von den Körperchen chemisch gebunden und aufgelöst wird. Da wo die Menge der Kohlensäure bei der gegebenen Spannung des Gases ausreicht alle diese Bedürfnisse zu decken, muss der Process unzweifelhaft auf die angegebene Weise vor sich gehen. Wie gestaltet sich aber derselbe in jenen Fällen, wo die in das Blut eingetretene CO_2-Menge sehr gering ist, und zwar nicht deshalb, weil die Spannung des Gases am Orte seiner Bildung niedrig war, sondern weil das Blut wegen des zu raschen Vorbeifliessens an diesem Orte sich mit dem Gase zu sättigen keine Zeit hatte? Eine Antwort hierauf kann man von solchen Absorptionsversuchen [am Serum oder am Blute ist ganz gleich] erwarten, wo die Menge der Kohlensäure vor der Absorption zu klein ist um die chemischen Affinitäten der Flüssigkeit zu sättigen. Folgt die Vertheilung der absorbirten CO_2 auch jetzt dem obigen Gesetze, so ist zu erwarten, dass die CO_2 nie vollständig abstorbirt wird; und dieses ist in der That der Fall. In dem

dreigliederigen Versuche 1—23—24 der Tab. II war die ers' ' Bestimmung bei stärkeren Druckhöhen gemacht und ergab die chemische Absorptionsgrösse gleich 9 ccm CO_2 auf 45 ccm Serum. Für die zweite Bestimmung (№ 23) natürlich an demselben Serum nahm ich absichtlich weniger CO_2— nur 7,41 ccm. Die Endspannung des Gases nach Beendigung der Absorption war 24 mm und die zurückgebliebene CO_2-Menge betrug 1,32 ccm. Da der Zustand des Gases in jedem Absorptionsversuche nach Beendigung des letzteren der Sättigung aller Affinitäten der Flüssigkeit für die vorhandene Endspannung entspricht, so war unzweifelhaft auch hier ein Theil der absorbirten CO_2 aufgelöst und zwar der Endspannung und dem Lösungscoëfficienten für die gegebene Temperatur entsprechend. Folglich geschah die Vertheilung des Gases auch in diesem Falle nach dem obigen Gesetze.

Das Gesetz der Vertheilung der CO_2 zwischen den Elementen des Blutes proportional den physikalischen und chemischen Anziehungen der letzteren bleibt somit gleichfalls in Kraft, ob wir uns die Absorption von CO_2 durch das Blut in den Capillaren des Körpers als eine Sättigung der Flüssigkeit mit dem Gase für die vorhandene Spannung oder als ein zufällig grösseres oder geringeres Schöpfen des Gases aus den Gewebeflüssigkeiten denken. Auch im letzten Falle entspricht der Endzustand des Gases im Blute einer Sättigung der Flüssigkeit für eine gewisse niedrige Spannung, welche sich practisch durch aerotonometrische Versuche bestimmen lässt.

Es braucht nach dem Gesagten kaum noch hinzugefügt zu werden, dass in allen Fällen ohne Ausnahme beide Bestandtheile des normalen Blutes nebst chemisch gebundener auch aufgelöste CO_2 enthalten müssen; und weiter, dass das normale Blut trotzdem alkalisch reagiren muss, insofern es nämlich mit CO_2 für eine so niedrige Spannung gesättigt ist, dass die Affinitäten seiner Alkalien wenigstens zu $^1/_3$ frei bleiben.

30. Die quantitative Vertheilung der CO_2 im Blute werde ich nur für dasjenige des Hundes und nur für den in physiologischer Hinsicht wichtigen Fall betrachten, wenn die Flüssigkeit mit CO_2 bei Körpertemperatur und 50 mm Druck gesättigt ist. Diese Bedingungen entsprechen nämlich der physiologischen Umwandlung des arteriellen Blutes in das venöse während seines Durchströmens durch die Capillaren des Körpers. Den Antheil von Plasma werde ich absichtlich etwas übertreiben, um die starke Betheiligung der Blutkörperchen an der Bindung von CO_2 desto klarer aus Licht zu setzen.

Dementsprechend will ich den unauspumpbaren Teil der CO_2 im Hundeserum=10 ccm setzen. Da die von mir für die Körpertemperatur und 50 mm Spannung im Hundeserum gefundene Absorptionsgrösse (№№ 28 und 29 der Tab. II) 14 ccm beträgt, so enthält das bei 37—37,5° und 50 mm Spannung mit CO_2 gesättigte Serum 24 ccm CO_2 auf 100 ccm Flüssigkeit. Auf das Plasma übertragen, d. h. mit $^{10}/_9$ multiplicirt, würde die entsprechende Grösse 27 ccm betragen. Der im Plasma bei der Körpertemperatur und 50 mm Dr. aufgelöste Theil der CO_2 berechnet sich (aus den Vers. 28 und 29) zu 3,4 ccm. Folglich enthalten 100 ccm Plasma im Ganzen 30,5 ccm. CO_2. Das Volumen des letzteren im Hundeblute sei 70 auf 100. Dann ist der im normalen venösen Blute des Hundes auf das Plasma ankommende Theil der Kohlensäure höchstens 22 ccm gleich. Der Rest kommt auf die Blutkörperchen. Venöses Hundeblut enthält durchschnittlich kaum

mehr wie 33 ccm CO_2; folglich *ist dieselbe im venösen Blute so vertheilt, dass* $^2/_3$ *der gesammten Kohlensäure auf das Plasma und* $^1/_3$ *auf die Blutkörperchen ankommt.*

Zu demselben Schlusse führt die umgekehrte Berechnung[1] vermittelst der totalen Absorptionsgrössen der Blutkörperchen. Im Versuche 80 der Tab. IV ist diese Grösse auf 100 ccm Cruor gleich 35,3 ccm CO^2 Das Volumen der Körperchen in 100 Blut ist 30 ccm. Folglich beträgt der auf die Blutkörperchen ankommende Theil von CO_2 $35{,}3 \times 0{,}3$ oder 10,6 ccm. CO_2.

Der aus dieser Berechnung fur das Plasma des venösen Blutes sich ergebende CO_2-Gehalt erweist sich allerdings etwas kleiner als der durchschnittliche Wert für CO_2 im Serum sogar des arteriellen Blutes nach den direkten Bestimmungen von Schöffer, Preyer und Al. Schmidt, indem die letztere Grösse, als Mittel aus 11 Bestimmungen, 34 ccm CO_2 und die meinige nur 30 ccm beträgt. Die Abweichung ist jedoch leicht zu erklären. Es kann erstens keinem Zweifel unterliegen, dass im Blut während seiner Gerinnung ein Theil der chemisch gebundenen CO_2 aus den Blutkörperchen ind das Serum übergeht, weil die Säureentwickelung hauptsächlich in den Blutkörperchen und nicht in dem Plasma geschieht; zweitens liegt vielleicht der mittlere Werth für den Sättigungsdruck in den Capillaren etwas höher als 50 mm Quecksilber. In einzelnen Fällen, namentlich da, wo der CO_2-Gehalt sowohl des Blutes als des Serums [beide gehen nämlich nach den Versuchen von Al. Schmidt Hand in Hand] den mittleren Werth zu stark übertrifft, muss letzteres sogar unbedingt angenommen werden, denn wie würde man anders solche Ausnahmen (wie z. B. 42 ccm CO_2 auf 100 ccm defibr. Blut, oder 42 ccm CO_2 auf 100 ccm Serum) erklären können? Folglich enthält die Abweichung nichts, was gegen den oben formulirten Satz sprechen könnte.

Der letztere schliesst in sich im Gegenteil eine Thatsache von hoher physiologischer Bedeutung ein. Setzt man in der That die chemische Bindungsgrösse der CO_2 in den Blutkörperchen auf 100 ccm Hundeblut gleich 10 ccm, so kommt meiner Theorie nach mehr als die Hälfte davon auf das Haemoglobin an; und diese grössere Hälfte wird mithin während der Umwandlung des arteriellen Blutes in das venöse durch denjenigen Körper locker fixirt, welcher gleich darauf in den Lungencapillaren mit Sauerstoff reagirt. Verhielte sich der letztere auch ganz indifferent gegen das Haemoglobin, so würde dennoch das Zusammentreffen der CO_2-haltigen Körperchen mit Sauerstoff eine Entweichung der CO_2 auf dem Wege der physikalischen Diffusion zur Folge haben. Nun gesellen sich aber zu diesen physikalischen Bedingungen noch die chemischen Verwandtschaften des Sauerstoffs zu dem CO_2 -Träger, welche die Kohlensäure aus dem Haemoglobin auf die nämliche Weise austreiben, wie es in Bezug auf den Sauerstoff selbst von Kohlen- oder Stickstoffoxyd gethan wird.

Dieses ist aber nicht alles.—So wie einmal dem Haemoglobin der normalen Blutkörpechen die Function zugestanden wird CO_2 zu binden, muss weiter zugestanden werden, dass wenn die mit O beladenen Körperchen

---

[1] Diese ist aber weniger zuverlässig, weil das Cruor des Hundeblutes in meinen Versuchen, wegen der Beimischung von Serum, etwas zu niedrige Werthe für die chemische Absorption von CO_2 zeigen musste.

des arteriellen Blutes in die Capillaren des Körpers gelangen, die Kohlensäure der Gewebe einen Teil des Sauerstoffs aus dem Oxyhaemoglobin austreiben muss. Man gewinnt mit anderen Worten ein neues Moment für die Ablösung des Sauerstoffs von den Blutkörperchen.

Die Thatsache, dass ein Theil der Blutkörperchen-CO_2 im Haemoglobin fixirt ist, legt endlich den Grund ab, warum, wie es zuerst in Ludwig's Laboratorium gefunden war, die aërotonometrischen Werthe für CO_2 des Blutes in der sauerstoffhaltigen Atmosphäre höher als im Vacuum ausfallen.

31. Die Abhandlung schliesse ich mit einem kurzen Résumé der Hauptergebnisse dieser Untersuchung und zwar will ich jetzt die die Blutkörperchen betreffenden Thatsachen vorangehen lassen, da die Ergebnisse der Versuche am Serum hierdurch um vieles klarer hervortreten.

1) Als CO_2-bindender Stoff ist in den roten Blutkörperchen eine salzartige Verbindung des Haemoglobins mit Alkali zu betrachten, in welcher das Haemoglobin die Rolle einer schwachen Säure im Sinne Berthelot's spielt.

Dieser Satz geht aus folgenden Thatsachen hervor:

a. richten sich in drei von mir untersuchten Blutarten die chemischen Bindungsgrössen der CO_2 nach dem von Bunge für die Blutkörperchen dieser Blutarten angegebenen Alkaligehalt; und

b. entsprechen dem allgemeinen Charakter nach die Absorptionserscheinungen der CO_2 durch die Blurkörperchen keineswegs einer Verbindung dieses Gases mit freien Alkalien, sondern eher der Absorption desselben durch Lösung eines Salzes mit schwacher Säure.

2) Mit Kohlensäure reagirt die Verbindung «Haemoglobin—Alkali» auf doppelte Weise: nach Art aller durch schwache Säuren gebildeten Salze, indem hierbei die CO_2 dem Haemoglobin einen Teil seiner Base entreisst; und als eine Verbindung, in welcher die Säure (Haemoglobin) an und für sich von CO_2 zersetzt werden kann und wirklich zersetzt wird.

Die Beweise, dass der Process nur in dieser Richtung vor sich gehen muss, sind vierfacher Art:

c. kann die quantitative Seite der chemischen Absorption durch die Annahme nicht erklärt werden, dass die Verbindung «Haemoglobin+ Alkali» mit dem Gase nur in einer Richtung, nur als Salz, reagirt;

d. entsprechen die die chemische Absorption von CO_2 zum Verschwinden bringenden Ansäuerungsgrade der Blutkörperchenlösungen bedeutend mehr als einfacher Neutralisation der in denselben enthaltenen Alkalien; ferner

e. deuten alle Charaktere der in solchem Grade angesäuerten Cruorlösungen darauf hin, dass das Haemoglobin hierbei eine Aenderung erlitten hat, welche jedoch nicht so weit geht, wie die bekannte Spaltung des Haemoglobins in Haematin und Albuminstoff; endlich

f. sind die absorptiometrischen Erfolge kleiner Zusätze von Alkalien zu den Blutkörperchenlösungen derart, dass sie nur durch den zersetzenden Einfluss von CO_2 auf das Haemoglobin erklärt werden können.

Bedeutend schwieriger war die entsprechende Aufgabe in Bezug auf das Serum.

Da die chemische Absorption von CO_2 auch hier vom Drucke abhängig ist und sich nach dem Alkaligehalt verschiedener Serumarten richtet, so war zu erwarten, dass die CO_2-bindenden Stoffe auch hier dem Typus eines Salzes mit schwacher Säure entsprechen werden, dass folglich im Serum ein dem Haemoglobin aequivalenter Stoff zu finden ist. Da andererseits das normale CO_2-haltige Serum bei dem Auspumpen einen Theil der chemisch gebundenen CO_2 zurückhält, war in die Beschaffenheit der CO_2-bindenden Stoffe eine dieser Eigenthümlichkeit entsprechende Bedingung einzuführen. Die bekannte Ansicht von Sertoli über die CO_2-bindenden Stoffe des Serums lieferte eine fertige aber unbewiesene Formel hierzu. Die dem Haemoglobin aequivalenten saueren Stoffe sollen nach dieser Ansicht die Globuline des Serums darstellen und zwar sollen dieselben in einer Quantität gegeben sein, welche nicht ausreicht die ganze Menge von Serumalkalien zu sättigen. Mehr wie ein Jahr hielt ich an dieser Idee fest, mich in den Anstrengungen erschöpfend die Ergebnisse directer Versuche den Anforderungen dieser beim ersten Anblick so einfachen Hypothese anzupassen und stets ohne Erfolg[1]. Erst nachdem ich mich von dieser Idee losmachte und die Möglichkeit einer anderen alle Eigenthümlichkeiten der CO_2-Absorption durch das Serum umfassenden Formel einsah, bekamen die Versuchsergebnisse einen klaren positiven Sinn.

Nach dieser neuen Ansicht sind die CO_2-bindenden Stoffe des Serums in der That durch eine Verbindung der Globuline mit Alkali gegeben, in welcher jedoch die Globuline nicht von vorne her sauere Eigenschaften besitzen, sondern dieselben erst unter dem Einflusse von CO_2 erhalten.

Hierdurch nimmt erstens die Reaction des Körpers «Globulin+Alkali» mit CO_2 dieselbe Form an, welche wir oben an den Blutkörperchenstoffen gesehen haben; zweitens wird das lockere Gebundensein der CO_2 sowohl im Serum als in den Körperchen eigentlich auf dieselbe Grundlage zurückgeführt; und drittens lassen sich die unauspumpbaren Reste von CO_2 im Serum auf eine ganz einfache Weise erklären.

Was die Thatsachen anbelangt, durch welche der obige Satz bewiesen wird, so lauten sie folgendermassen:

Durch die Ausscheidung der Globuline mittelst $MgSO_4$ verliert das Serum die Eigenschaft CO_2 abhängig vom Drucke zu binden, folglich könnten dieselben als schwache Säuren gedeutet werden.

Jedoch besitzt das dialysirte globulinhaltige und ausgepumpte Serum die Fähigkeit nicht CNa_2O_3 im Vacuo zu zersetzen.

Andererseits verhält sich das dialysirte globulinhaltige Serum gegen die CO_2 den Blutkörperchenlösungen sehr ähnlich, indem es die CO_2 in grosser Abhängigkeit vom Drucke und in solcher Menge bindet, welche sogar die Umwandlung des in dem Serum zurückgebliebenen Alkali (als Na_2O gedacht) in saures Carbonat übertrifft.

---

[1] Alle jene zahlreichen Versuche, worin ich den sauren Character sowohl am dialysirten Serum, als an diesem oder jenem Bestandtheil der Flüssigkeit im Einzelnen festzustellen suche, sind den Bemühungen entsprungen, die Hypothese von S e r t o l i zu beweisen.

Hierdurch wird für die dialysirten Globuline die Fähigkeit CO_2 an und für sich chemisch zu binden streng bewiesen; und da diese Stoffe im nicht dialysirten Serum der Absorption von CO_2 einen solchen Charakter ertheilen, als spielten dieselben in ihrer Verbindung mit Alkali die Rolle einer schwachen Säure [welche ihnen im ausgepumptem Zustande nicht zukommt!], so muss unvermeidlich angenommen werden, dass sie den sauren Charakter erst unter dem Einflusse von CO_2 erhalten.

St. Petersburg, den 25. Februar 1879.

DIE THEORIE DER LUNGENLUFTZUSAMMENSETZUNG

Neulich habe ich in einem Artikel über die O-Spannung in der Lunge[1] das Gesetz der stationären Zusammensetzung der Lungenluft entwickelt und einen speciellen Fall seiner Anwendung erörtert, wenn namentlich der Mensch oder das Thier in verdünnte Luft zu athmen kommt. Nun will ich das Gesetz einer allgemeinen Betrachtung unterziehen.

Es liegen demselben folgende Annahmen zu Grunde: 1) regelmässiger Verlauf des O-Verbrauches und der CO_2-Production, nebst einem indifferenten Verhalten des Stickstoffs bei der Respiration; 2) regelmässige Periodicität der Athembewegungen mit einem klienen aber bestimmten Ueberwiegen der Inspirationen vor den Exspirationen (dem Volumen nach); 3) vollständige Mischung eines gewissen und beständigen Theiles der inspirirten Luftmenge mit dem ganzen Volumen der Lungenluft.

Von diesen Annahmen bedarf nur die letztere einer kurzen Erläuterung. Es ist aus den Versuchen von Gréhant mit H bekannt, dass bei der Lungencapacität zu 3 Lit. (in rund. Zahl) und dem Umfange der Inspirationen zu 0,5 Lit., von der inspirirten Luftmenge 330 ccm in der Lungenhöhle *vollständig gemischt mit der Lungenluft* zurückbleiben und 170 ccm mit der Exspiration entweichen. Die letztere von diesen Grössen setzt sich offenbar aus 2 Theilen zusammen: aus dem Gasvolumen, welches den oberen unausdehnbaren Theil der Lungenhöhle bei der Inspiration gefüllt hat [dieses Gas nimmt augenscheinlich keinen directen Antheil an der Respiration] und einem gewissen Theil des inspirirten Gases, welches sich mit der Lungenluft gemischt hat. Dem entsprechend *muss der sich mit der Lungenluft mischende Theil der Inspiration mehr als* 330 *ccm betragen.* Setz man z. B. das die Lunge füllende Gasvolumen = 2500 ccm, den oberen unausdehnbaren Theil der Lungenhöhle = 120 ccm und das Inspirationsvolumen zu 500 ccm, so bekommt man folgendes: von der Inspiration bleiben 120 ccm im oberen Theile unbenutzt, die übrigen 380 mischen sich mit der Lungenluft zu 2880 ccm zusammen, und von diesem Gemenge werden mit der Exspiration 380 ccm ausgestossen. Letztere liefern 50 ccm inspirirter Luft zurück, welche mit den unbenutzten 120, die Gréhant'sche Zahl 170 geben. Der sich mit der Lungenluft mischende Theil der Inspiration

---

[1] Dies Archiv Bd. XXIII, p. 406. In diesem Artikel ist aus Versehen an manchen Stellen M_0 statt V_0 gedruckt worden.

musste somit in den Versuchen von Gréhant zwischen $^2/_3$ und $^4/_5$ Inspiration liegen.

Bezeichnet man also unter den aufgezählten Annahmen mit A das beständige Volumen der Lungenluft; mit B den mit demselben sich mischenden Theil der Inspiration mit T_0, U_0, V_0 die beliebig gewählten Volumina Sauerst., Stickst., und CO_2 in A [also $T_0 + U_0 + V_0 = A$]; mit t, u, v, die periodischen Zuwächse dieser Gase; und endlich mit T, U, V, die stationären Volumina von O, N und CO_2 in A,—so ändern sich die Werthe von T_0, U_0 und V_0 nach Ablauf einer jeden Periode nach einem und demselben Gesetze und zwar so, dass sie den Werthen von T, U, V immer näher und näher kommen [1]. Wandeln sie sich nach Ablauf der 1ten, 2ten.....$n$ten Periode in T_1, T_2....T_n, U_1, U_2....U_n, V_1.....V_n um; so hat man nach n Perioden

für O: $$T_n = T + (T_0 - T)\left(\frac{A}{A+B}\right)^n \qquad 1)$$

für N: $$U_n = U + (U_0 - U)\left(\frac{A}{A+B}\right)^n \qquad 2)$$

für CO_2: $$V_n = V + (V_0 - V)\left(\frac{A}{A+B}\right)^n \qquad 3)$$

Zur Auffindung von T, U, V können ferner folgende Formeln[2] benutzt werden.

$$(T+t)\left(\frac{A}{A+B}\right) = T \qquad T = \frac{A}{B}t \qquad 4)$$

$$(U+u)\left(\frac{A}{A+B}\right) = U \qquad U = \frac{A}{B}u \qquad 5)$$

$$(V+v)\left(\frac{A}{A+B}\right) = V \qquad V = \frac{A}{B}v \qquad 6)$$

Der periodische Zuwachs v von CO_2 stellt die Menge dieses Gases dar, welche vom thierischen Körper im Laufe der 1 Periode producirt und ausgeathmet wird. Die entsprechende Grösse t für O setzt sich aus folgenden 3 Elementen zusammen: 1) aus dem periodischen Verbrauche des Sauerstoffs, welcher mit einem negativen Vorzeichen in die Gleichung eingeht; derselbe mag mit α bezeichnet werden; 2) aus der periodischen O-Zufuhr durch die Inspirationen; dieser Theil ist $= \frac{B}{5}$; endlich 3) aus einer kleinen O-Zufuhr, welche dadurch entsteht, dass der absolute Werth von α gewöhnlich grösser als derjenige von v ist. Dieser Umstand bewirkt nämlich eine Verdünnung der Luft in der Lungenhöhle, und da die letztere stets offen bleibt, so entsteht hieraus eine compensirende Lufteinströmung. Der 3te Theil des O-Zuwachses ist also $= \frac{\alpha - v}{5}$;[3] Auf Grund des soeben Gesagten ist der periodische Zuwachs von N: $u = \frac{4}{5}B + \frac{4}{5}(\alpha - v)$.

[1] l. c. S. 407—408.

[2] l. c. S. 411.

[3] Das Volumen der Inspiration überweigt das Ausathmungsvolumen gerade um die Grösse $\alpha - v$.

Folglich:

$$T = \frac{A}{B}\left[\frac{B}{5} + \frac{\alpha - \varphi}{5} - \alpha\right] \quad 7)$$

$$U = \frac{A}{B}\left[\frac{4}{5}B + \frac{4}{5}(\alpha - \varphi)\right] \quad 8)$$

$$V = \frac{A}{B}\varphi \quad 9)$$

1) Lungencapacität und Brustkastenexcursionen

Von allen in diese Gleichungen eingehenden Grössen ist diejenige von A am wenigsten veränderlich. Sie zeigt allerdings Schwankungen von einem Menschen zum anderen, aber gleichzeitig mit ihr steigt und sinkt B, und zwar so, dass das Verhältniss $\frac{A}{B}$ wahrscheinlich ziemlich constant bleibt.

Hätten somit die noch fehlenden vergleichenden Messungen von A und B an Menschen verschiedenes Wuchses, mit verschiedenem Brustumfang u. s. w. die annähernde Beständigkeit des Verhältnisses $\frac{A}{B}$ ergeben, so würde hieraus eine Unabhängigkeit der stationären Zusammensetzung der Lungenluft von der Capacität der Lungenhöhle folgen. Indirect, d. h. vermittelst des mit ihr wachsenden und sinkenden B, würde sie dennoch einen Einfluss auf die stationäre Zusammensetzung ausüben. Gleichzeitig mit B, bei constantem $\frac{A}{B}$, steigen und sinken T und U; V bleibt aber unverändert. Zur Entscheidung der Frage, welches von beiden Gasen raschere Schwankungen erleidet, hat man nur in den Gleichungen 7) und 8) $\frac{B}{5} + \frac{\alpha - \varphi}{5}$ gleich k zu setzen und den Stickstoffzuwachs auf denjenigen von O zu dividiren;—man erhält $\frac{4k}{k - \alpha}$, oder $4 + \frac{4\alpha}{k - \alpha}$. Die Grösse von k steigt und sinkt gleichzeitig mit B; je grösser also das letztere, desto kleiner der Bruch $\frac{4\alpha}{k - \alpha}$, desto kleiner der relative N-Zuwachs im Vergleich mit demjenigen von O.

Beispiele:

Bei $A = 2\,500$ ccm; $B = 400$ ccm
$\alpha = 25$ ccm; $\varphi = 20$ ccm

Bei $A = 3\,100$ ccm; $B = 496$ ccm
$\alpha = 25$ ccm; $\varphi = 20$ ccm

(normaler Fall).

$2\,500 \begin{cases} T = 350 \text{ ccm} \\ U = 2\,025 \text{ »} \\ V = 125 \text{ »} \end{cases}$

$3\,100 \begin{cases} T = 470 \text{ ccm} \\ U = 2\,505 \text{ »} \\ V = 125 \text{ »} \end{cases}$

Der O-Gehalt ist gestiegen von 14% auf 15,1%; derjenige von N ist gesunken von 81% auf 80% (etwas weniger); endlich der CO_2-Gehalt ist gesunken von 5% auf 4%.

b) Die Existenz solcher Fälle, wo A zu- und B abnehmen sollte, ist

so viel ich weiss nicht bewiesen. Jedoch ist eine solche Aenderung des Respirationsmodus nicht unwahrscheinlich, wenn der Mensch oder das Thier in eine stark comprimirte Luft gelangt. Diese Aenderung an und für sich betrachtet (d. h. abgesehen von der Compression der Luft, wovon später die Rede sein wird), würde zunächst V erhöhen, T und U dagegen entsprechend erniedrigen und zwar den ersten stärker als den zweiten. Uebrigens lässt es sich schon a priori sagen, dass die Aenderungen von A und B keine bedeutende sein können.

c) Wenn das in b) vermuthete richtig ist, so muss die Verminderung des Luftdruckes A kleiner und B grösser machen. Diese Bedingung ist der vorherigen gerade entgegengesetzt.

d) Am öftesten kommen im Leben solche Fälle vor, wo unter übrigens gleichen Bedingungen die Athembewegungen ihre Frequenz und Tiefe gleichzeitig ändern. Der einfachste Fall ist hier derjenige, wo die respiratorische Arbeit (gemessen durch die in- oder exspirirte Luftmenge im Laufe einer Zeiteinheit) trotz solcher Schwankungen constant bleibt; wo mit anderen Worten der aus der Frequenzzunahme entstehende Erfolg durch die Verflachung der Inspirationen compensirt wird, oder umgekehrt. Für diesen Fall hat man in Gleichungen 7), 8) und 9) α und φ sich in Form von Brüchen zu denken, z. B. in Form von $\frac{\alpha'}{f}$ und $\frac{\varphi'}{f}$, wo α' und φ' den O-Verbrauch und die CO_2-Production im Laufe 1^1 darstellen, während f die Anzahl der Athemzüge in 1^1 bedeutet. Aendert sich nun f auf $g > f$ oder $h < f$, und sollen hierbei T, U, V unverändert bleiben, so muss im ersten Falle B im Verhältnisse $\frac{f}{g}$ abnehmen, im zweiten umgekehrt im Verhältnisse $\frac{f}{h}$ zunehmen. Hier wie dort blieben die stationären Volumina unverändert; dennoch ist der zweite Respirationsmodus insofern vortheilhafter als von der inspirirten frischen Luft ein desto grösserer Theil in die Lungenbläschen eindringt, je umfangreicher die Inspiration ist.

Tiefere und seltenere Inspirationen bei gleich bleibender Zusammensetzung der Lungenluft ersparen somit die respiratorische Muskelarbait, weil der Umfang der totalen Inspiration (nicht B, welches den utilisirten Theil der Inspiration bedeutet!) hierbei etwas weniger als im Verhältnisse $\frac{h}{f}$ zunehmen kann.

2) Compression und Verdünnung der Luft

Die Aenderungen, welche die Zusammensetzung der Lungenluft bei Athmung in comprimirter und verdünnter Luft erleidet, sind höchst auffallend und hängen davon ab, dass A und B, als Volumina betrachtet, entweder gar keine oder unbedeutende Aenderungen zeigen (siehe oben sub b und c), während α und φ, als Gasvolumina, sich mit dem Drucke ändern, und zwar umgekehrt proportional demselben.

Schwankt somit der anfängliche Druck p, unter welchem der perio-

dische O-Verbrauch (als Gasvolum) $= \alpha$ und die CO_2-Production $= \varphi$ war, auf $m \lesseqgtr p$, so gehen die Gleichungen 7), 8) und 9) in folgende über:

$$T = \frac{A}{B}\left[\frac{B}{5} - \left(\frac{4\alpha + \varphi}{5}\right)\frac{p}{m}\right]$$

$$U = \frac{A}{B}\left[\frac{4B}{5} + \left(\frac{4\alpha - 4\varphi}{5}\right)\frac{p}{m}\right]$$

$$V = \frac{A}{B} \cdot \varphi \cdot \frac{p}{m}$$

Das stationäre CO_2-Volumen ändert sich folglich umgekehrt proportional dem Drucke. In demselben Sinne schwankt natürlich auch der Procentgehalt von CO_2 in der Lungenluft; während der Partialdruck des Gases unverändert bleibt. Letzterer Umstand ist insofern wichtig als er zeigt, dass Schwankungen des Atmosphärendruckes keinen directen Einfluss auf den Austritt von CO_2 haben können.

Bei Steigerung des Druckes nimmt U ab, jedoch senr unbedeutend, weil die numerische Grösse von $\frac{4\alpha - 4\varphi}{5}$ überhaupt sehr klein ist in Vergleich mit $\frac{4B}{5}$. T nimmt hingegen zu und zwar entsprechen die absoluten Grössen seiner Zunahme der Summe von Abnahmen des Stickstoffs und der Kohlensäure, weil auch jetzt die Gleichung $T + U + V = A$ besteht. Die Abnahme des Druckes wirkt auf U und T umgekehrt: N-Volumen nimmt langsam zu, T um vieles rascher ab, weil der numerische Werth von $\frac{4\alpha + \varphi}{5}$ um vieles grösser ist als derjenige von $\frac{4(\alpha - \varphi)}{5}$.

Als Beispiele führe ich die Aenderungen der normalen Lungenluftzusammensetzung, wenn einerseits der Druck von 1 Atm. auf 2, 3, 4.... Atm. steigt, andererseits von 1 Atm. auf $^1/_2$, $^1/_3$... Atm. sinkt.

1 atm.		2 Atm.	3 Atm.	5 Atm.	10 Atm.
O 350	O	425	450	470	485
N 2025	N	2012,5	2008,3	2005	2002,5
CO_2 125	CO_2	62,5	41,6	25	12,5

	$^1/_2$ Atm.	$^1/_3$ Atm	0,3 Atm.
O	200	50	Null
N	2050	2075	2083,33
CO_2	250	375	416,66

Zusammensetzung der Inspirationsluft.

Nicht minder auffallend sind die Aenderungen der Lungenluft, wenn die zur Athmung dienenden Gasgemische Schwankungen in ihrer Zusammensetzung zeigen. Von solchen Schwankungen sind praktisch wichtig nur folgende: die Gegenwart von CO_2 in der Inspirationsluft und Aenderungen des O-Gehaltes in derselben.

a) Bleibt die Menge von CO_2 in der Inspirationsluft constant und beträgt dieselbe $n\%$, so nimmt der periodische Zuwachs von CO_2 (φ) um $\frac{B}{100}n$ zu. Folglich wird:

$$V = \frac{A}{B}\left(\varphi + \frac{B}{100}n\right) = \frac{A}{B}\varphi + \frac{A}{100}\cdot n;$$

d. h. die Zunahme von V in der Lungenluft erreicht $\frac{A}{100}$ auf je 1% CO_2 in der Inspirationsluft.

Für die freie Atmosphäre ist n höchstens gleich 0,05 zu setzen; ist hierbei $A=2500$, so beträgt die Zunahme von V (125 ccm.) 1,25 ccm. Als weitere Beispiele mögen folgende Zahlen dienen.

Procentgeh. d. CO_2 in der Luft	0	1	3	4	6	10
V	125	150	200	225	275	375
Partialdr. d. CO_2 i. d. Lungenl. in Hg-mm	38	45,6	60,8	68,4	83,6	114

Auf die Wirklichkeit übertragen gelten die Zahlen dieser Tabelle scheinbar nur so lange als das anwachsende V noch nicht diejenige Höhe erreicht hat, welche der periodischen Ausscheidung von CO_2 aus dem Blute in der Menge φ hinderlich ist. Die Anwendbarkeit geht jedoch jenseits dieser Gränze. So wie die letztere überschritten ist, muss φ allerdings abnehmen; dieses entspricht aber einer Anhäufung von CO_2 im Blute, resp. einer stetigen Zunahme ihrer Spannung in demselben. Folglich hängt das Weitere davon ab, wo die CO_2-Spannung rascher zunimmt, ob im Blute durch innere Production, oder in der Lunge durch äussere Zufuhr. So lange die erstere rascher vor sich geht [1], was natürlich nur bei den niedrigeren Procenten von CO_2 in der Inspirationsluft möglich ist, kann φ (d. h. die aus dem Blute in die Lunge übergehende CO_2-Menge) offenbar auf seine frühere Grösse zurückkommen, und nun beginnt der Wettstreit der CO_2-Spannungen im Blute und in der Lunge von neuem, bis endlich V für einen gegebenen Procent von CO_2 in der Einathmungsluft stationär wird. Die periodische CO_2-Lieferung aus dem Blute in die Lunge behält auch jetzt ihre frühere Grösse φ; das Blut, die Lunge und die Exspirationsluft werden aber um so mehr mit CO_2 beladen sein, je mehr davon in der Inspirationsluft enthalten ist. Wichtig ist es ferner zu merken, dass so lange die innere Zufuhr von CO_2 in die Lunge (d. h. aus dem Blute) grösser ist als die äussere, kann von der äusseren CO_2 kein Atom in's Blut (mittelst Absorption) übergehen.

Bei $A=2500$, $B=400$, $\varphi=20$ liegt die theoretische Gränze, bei welcher die äussere und die innere Zufuhr von CO_2 in die Lunge einander gleich sind,

---

[1] Die normale innere Production von CO_2 innerhalb einer Periode beträgt stets 20 ccm, während die periodische Zufuhr der von aussen kommenden CO_2

bei 3%CO_2	4%CO_2	6%CO_2	in der inspirationsluft
$12\times{}^{25}/_{29}$	$16\times{}^{25}/_{29}$	$24\times{}^{25}/_{29}$	beträgt.

bei $n = 6\%$. Folglich theoretisch könnte der normale Gang des respiratorischen CO_2-Wechsels, d. h. die periodische Lieferung von 20 ccm derselben aus dem Blute, noch bei 5% CO_2 in der Inspirationsluft bestehen. Praktisch muss aber diese Gränze viel niedriger liegen, weil die Anhäufung von CO_2 im Blute unmöglich ohne Einfluss auf deren Production in den Geweben bleiben kann.

Auf Grund des soeben Gesagten muss bei Athmung der Thiere in geschlossenen Räumen die Spannung von CO_2 in der sie umgebenden Luft zuerst zunehmen, hierauf eine Zeitlang stillstehen und endlich (durch Rückabsorption) allmählig abnehmen, wenn nämlich die innere CO_2-Production zu sinken beginnt. Besonders rasch muss letzteres in Fällen eintreten, wo die Athmungsräume klein sind, wo folglich neben einem schnellen Anwachsen der CO_2-Spannung noch die O-Zufuhr sehr schnell ungenügend wird, denn auch dieser Moment erniedrigt die innere Production von CO_2.

b) Bezeichnet man mit n den Procentgehalt von O in der Inspirationsluft, so nimmt die Formel 7) folgende Gestalt an:

$$T = \frac{A}{B} \times \left(-\alpha\right) + \frac{A}{B} \cdot \frac{n}{100}[B + \alpha - \varphi].$$

Schwankt n auf $n \pm 1$, so beträgt die Zu- resp. Abnahme von T auf je 1% O

$$\frac{A}{100} + \frac{A}{B}\left(\frac{\alpha - \varphi}{100}\right).$$

Die Schwankungen von T sind also etwas grösser als diejenigen von V unter den entsprechenden Bedingungen.

Bei $A = 2500$; $B = 400$; $\alpha = 25$; $\varphi = 20$.

Procentgeh. v. O in der Inspirationsluft	7%	9%	15%	20%	50%	100%
T	20,93	71,5	223,4	350	1 109,37	2 375
Partialdr. von O in d. Lunge in Hg-mm	6,36	21,7	67,8	106	337,21	722,0

Nimmt man an, dass die chemische Absorption von O durch das Blut bei 21 mm Spannung dieses Gases noch ihre normale Höhe behält, so ist die Erniedrigung des O-Gehaltes in der Inspirationsluft auf 9% nicht nur mit dem Leben, sondern mit einem normalen Gang des respiratorischen O-Wechsels noch verträglich. Erst bei einem niedrigeren Gehalt von O in der äusseren Luft müsste α abnehmen. Könnte z. B. das Leben noch bei $\alpha = 20$ und $\varphi = 16$ ungestört (d. h. ohne Erstickungsanfälle) vor sich gehen, so würden 8% O in der Einathmungsluft genügend sein, weil man unter diesen Bedingungen $T = 77$ mit 23 mm Spann. bekommt.

Zum Schlusse dieses Abschnittes führe ich die stationäre Zusammensetzung der Lungenluft unter zwei in Bezug auf die O-Zufuhr einander nahen Bedingungen an.

Athm. mit atmosph. Luft unt. d. Druck von 5 Atm.		Athm. mit reinem O	
2500	470 O	2500	2375 O
	2005 N		0 N
	25 CO_2		125 CO_2
Partialdr. d. O = 714,4 mm		Partiardr. d. O. = 722,0.	

Auf Grund des in diesem Abschnitte angeführten ist es nun ersichtlich, dass wenn man das Thier CO_2-haltige Luft einathmen lässt und dieselbe von 1 Atm. auf 2, 3.... Atm. comprimirt, die Bedingungen zur Ausscheidung von CO_2 aus dem Blute nicht im mindesten geändert werden, weil der Partialdruck der Kohlensäure in der Lunge unverändert bleibt. Der stationäre O-Gehalt, mithin die Spannung dieses Gases, nehmen im Gegentheil zu. In Folge des letzteren Umstandes wird also ein gegebenes CO_2-haltiges Luftgemenge im allgemeinen desto respirabler sein, je höher sein Druck ist (und umgekehrt). Die Zunahme der O-Spannung muss aber höchstwahrscheinlich noch einen anderen Einfluss mit sich bringen. Schon bei normaler Athmung stammt ein Theil der Lungen-CO_2 aus den Blutkörperchen her;—um so mehr, wenn die Inspirationsluft CO_2 enthält. An dem Austreiben der letzteren aus den Blutkörperchen muss natürlich auch O sich betheiligen und zwar nicht bloss als ein indifferentes Gas (diese Rolle kommt hauptsächlich dem N zu), sondern auch vermittelst seiner chemischen Affinitäten zu dem Blutfarbstoff. Ist letzterer mit CO_2 auf irgend welche Weise verbunden, so hat O die Verbindung (höchstwahrscheinlich) zu zerreissen; und einer solchen Arbeit würde die Zunahme der O-Spannung offenbar zu Gute kommen. Hierin liegt, glaube ich, der weitere Grund, warum die Compression der CO_2-haltigen Luftgemenge ihre Respirabilität erhöht. Uebrigens erwartet dieser Punkt noch eine experimentelle Entscheidung.

Schwankungen von α und φ

Die im Leben beobachteten Grössenschwankungen des O-Verbrauches und der CO_2-Production können in 2 Kategorien eingetheilt werden: solche, wo beide Grössen proportional zunehmen oder sinken, wo folglich das numerische Verhältniss von $\frac{\alpha}{\varphi}$ annähernd constant bleibt; und Fälle, wo die Schwankungen beider Grössen nicht proportional sind. Es ist aus den Versuchen bekannt, dass Schwankungen von α und φ stets eine compensatorische Aenderung der respiratorischen Arbeit des Luftzuführens nach sich ziehen. Somit müssen folgende Verhältnisse an's Licht gesetzt werden: wie sich bei gegebenen Schwankungen von α und φ die stationäre Zusammensetzung der Lungenluft ändert, wenn die Compensation fehlt; und wie gross die letztere sein muss, um T, U, V auf ihrer normalen Höhe zu halten.

a) Schwanken α und φ im Verhältnisse $\frac{p}{m}$, wo $p \gtrless m$ sein kann, so erleiden die Formeln 7, 8, 9 äusserlich dieselben Aenderungen, wie bei der Compression und Verdünnung der Luft. Die Zunahme von α und φ entspricht der Luftverdünnung; die Abnahme der Luftcompression. Der Unter-

schied zwischen beiden Fällen ist jedoch ein wesentlicher: bei Schwankungen der Luftpression ändert sich der Druck aller Gasvolumina im Verhältnisse $\frac{p}{m}$; während hier diese Grösse keine Aenderung erleidet. Bei Schwankungen des Luftdruckes bleibt ferner die partielle Spannung von V unverändert, während sie hier im Verhältuisse $\frac{p}{m}$ schwankt. Dennoch können die Formeln des 2. Abschnittes sowohl zur Ausrechnung von T, U, V als zur Bestimmung der nöthigen Compensation benutzt werden.

Letztere ist vollständig, wenn die Frequenz oder die Tiefe der Athemzüge sich im Verhältnisse $\frac{p}{m}$ ändert, oder wenn $\frac{p}{m}$ sich auf beide Momente vertheilt (dieses ist gewöhnlich der Fall).

Wenn α und φ abnehmen, existirt für die Compensation eigentlich keine Grenze [1]. Für die Verstärkung der respiratorischen Arbeit in Folge des Steigens von α und φ muss dagegen eine solche natürlich existiren. Leider ist sie für den Menschen nicht festgestellt worden. Theoretisch lässt sich darüber nur folgendes sagen. In der Wirklichkeit kann $\frac{p}{m}$ nie den Werth von $\frac{B}{4\alpha+\varphi}$ erreichen, denn T ist alsdann ohne Compensation $=0$. Ein solcher Zustand wäre für die Respiration viel ungünstiger, als Athmung unter dem Drucke von $^1/_3$ Atm. $\frac{p}{m}=\frac{B}{2(4\alpha+\varphi)}$ scheint hingegen möglich zu sein, denn T ist alsdann $=\frac{A}{10}$, d. h. im schlimmsten Falle $=200$ ccm. In allen solchen Fällen muss man übrigens noch den Umstand in Betracht ziehen, dass neben sinkendem O-Gehalt in der Lungenluft sowohl der numerische Werth von V als sein Partialdruck sehr rasch zunehmen. Beide Momente vereinigen sich aber darin, die Respirabilität der Lungenluft zu erniedrigen. In Folge dieses Umstandes wird wahrscheinlich die Compensation bei noch ziemlich hohen Werthen von T schon erforderlich.

b) Am ungünstigsten für die Respiration erweist sich die durch Muskelarbeit bedingte Zunahme von α und φ, und zwar nicht nur deshalb weil sie die grösste von allen bekannten ist, sondern noch darum, weil φ unter dieser Bedingung gleich α oder sogar etwas grösser wird. Hierdurch fällt aus dem periodischen O-Zuwachs das positive Glied $\frac{\alpha-\varphi}{5}$ weg und die Formel des stationären O-Gehaltes nimmt die Form $T=\frac{A}{B}\left[\frac{B}{5}-\alpha\right]$ an. Hier verwandelt sich T in Null bei $\frac{p}{m}=\frac{B}{5\alpha}$ und V nimmt an Grösse rascher als im vorigen Falle zu. Es ist deshalb nicht wunderlich, dass das Blut arbeitender Thiere trotz der Compensation viel reicher an CO_2, als das normale.

Die übrigen bekannten Fälle, wo α und φ nicht proportional schwanken, bieten kein besonderes Interesse dar.

---

[1] An winterschlafenden Thieren ist die respiratorische Arbeit kaum merklich.

ÜBER DIE ABSORPTION DER KOHLENSÄURE DURCH SALZLÖSUNGEN

Die Geschichte unserer Frage ist sehr kurz: ausser den Versuchen von *Fernet* [1], *Lothar Meyer* [2], *Lothar Meyer* und *Heidenhain*[3], und den meinigen [4] über die Absorption von CO_2 durch Lösungen von Na_2CO_3 und Na_2HPO_4 liegen überhaupt keine systematische Absorptions-Versuche mit CO_2 und Salzlösungen vor.

Die vorliegende Untersuchung, gleich derjenigen meiner Vorgänger, wurde in rein physiologischen Zwecken, und zwar in der Absicht unternommen, das absorptiometrische Verhalten gegen CO_2 derjenigen Salze des Blutes zu studiren, welche für die Grösse des Kohlensäurewechsels im thierischen Organismus bestimmend sind. Da ich jedoch beinahe bei den ersten Schritten in dieser Richtung auf Thatsachen stiess, welche mir von allgemeiner Bedeutung für die Frage über die Absorption von CO_2 durch Salzlösungen zu sein schienen, so dehnte sich die Untersuchung weit über die beabsichtigte Gränze hinaus.

Untersuchungsmethode.

1. Mein Absorptiometer (Fig. 1) besteht aus dem Flüssigkeitsrecipienten *A* und dem Manometer (der bekannten *Regnault*'schen Form) *B*, welche [namentlich das Gasrohr *a* des letzteren und der Recipient *A*] durch ein capillares silbernes Rohr *C* miteinander verbunden sind. Sowohl das Manometer als der Recipient *A* sind von Wassersäulen umgeben [deren Temperatur jeden Augenblick regulirt werden kann]; als Wasserbehälter dienen der den Recipienten *A* umgebende Glascylinder und der viereckige Kasten um die Röhren *a* und *b*. In die vordere und die hintere Wand des letzteren sind planparallele Glasscheiben wasserdicht eingesetzt. Beide Wasserbehälter sind natürlich mit Thermometern und Abzugsröhren versehen. Der Grund, warum ich dem Recipienten *A* die zweikugelige Gestalt gegeben habe, wird sogleich verständlich, so wie man die untere Kugel bis zur Marke

---

[1] Du rôle des princ. élém. du sang dans la resp. Ann. d. sc. nat., quatr. série. 1857.

[2] Die Gase d. Blut. Zeitschr. f. rat. Med. u. F. Bd. VIII. 1857.

[3] Ueb. d. Verh. d. Kohlens. u. s.w. Stud. d. physiol. Inst. zu Breslau, Leipz. 1863.

[4] Ueb. d. Abs. in ihr. Anwend. u. s. w. Pflüg. Arch. f. ges. Phys. 1873. Da hiermit sämmtliche Quellen angegeben sind, halte ich es im Weiteren für überflüssig, bei der Erwähnung einzelner Thatsachen ausser den Namen der Autoren noch die betreffenden Werke wiederum zu citiren.

am Halse mit Flüssigkeit gefüllt und den Recipienten *A* in eine horizontale Lage zum Zwecke des Schüttelns gebracht denkt.—Die untere Abtheilung ist kugelig, um eine möglichst grosse Flüssigkeitsmasse anwenden zu können, ohne die Dimensionen des Recipienten unnöthig zu vergrössern; der Hals zwischen den Kugeln gestattet eine scharfe Ablesung des Flüssigkeitsvolumens; und die obere Kugel dient zur Aufnahme des mit der Flüssigkeit zu schüttelnden Gases. Die untere Kugel des Recipienten läuft in eine capillare, mit einem luftdicht schliessenden Hahne *e* (aus den Werkstätten von Geissler in Bonn) versehene Glasröhre, auf deren untere Hälfte ein dickwandiges Kautschukrohr aufgebunden ist. Das Offenlassen des unteren Endes des Recipienten bietet eine Reihe unschätzbarer Vortheile dar, indem dadurch: 1) die Anwendung weiterer Hähne auf dem Wege des Gases von *a* nach *A* unnöthig wird; 2) die Füllung des Apparates mit CO_2 vollkommener als sonst geschehen kann und 3) die Operation des Waschens desselben erleichtert wird. Das Abzugsrohr des Manometers trägt unter dem Dreiweghahne *c* (dieser dient zum Oeffnen und Absperren des Weges zwischen den Manometerröhren), nebst anderem Dreiweghahne *d* einen Querfortsatz, woran der zum Füllen des Manometers mit Quecksilber und für die Regulirung des Gasdruckes während des Versuches dienende Kautschukschlauch *D* angebunden ist. Beide Manometerröhren sind in Millimeter eingetheilt und das zur Aufnahme von Gas dienende Rohr *a*, etwa von 800 mm. Länge, ist (ebenso wie der Recipient *A*) mit Quecksilber nach Gewicht kalibrirt. Die Länge des silbernen Capillarrohres *C* beträgt 50 ctm. Bei der Biegsamkeit des Rohres ist diese Länge hinreichend um die im Laufe der Versuches nöthigen Manipulationen mit dem Recipienten *A*—das Bringen desselben in die horizontale Lage zum Schütteln der Flüssigkeit mit dem Gase—zu gestatten, ohne die Empfindlichkeit des Apparates zu gefährden.

Der übrigen Theile des Apparates werde ich bei der Beschreibung des Ganges des Versuches erwähnen.

Da ich Absorptionsversuche nicht bloss mit schwachen, sondern auch mit gesättigten Salzlösungen beabsichtigte, so war dafür zu sorgen, dass der ganze Gasraum, und zwar während der ganzen Dauer des Versuches, mit Wasserdampf gesättigt bleibe, sonst wäre ich gezwungen, eine unzählige Reihe von Bestimmungen über die Spannung des Wasserdampfes verschiedener Salzlösungen verschiedener Concentration vorzunehmen. Glücklicherweise ist dieses leicht zu vermeiden, indem man, ehe die Füllung des Apparates mit CO_2 beginnt, in den oberen Theil des Gasrohres *a* Paar Tropfen Wasser einführt[1];—die Dampfspannung des Wassers bleibt alsdann in dem ganzen Gasraum die herrschende, solange die Absorption des Gases erfolgt und auch nach Beendigung derselben, wenn man jetzt ein Paar Mal in das offene Ende des Druckrohres *b* hineinbläst.

Jetzt denke man sich, zum Zweck der Füllung des Apparates mit CO_2, das Gefäss *E* mit seinem Rohre *G* weg (siehe die Fig. des Apparates), die Manometerröhren bis zur halben Höhe mit Quecksilber gefüllt und das offene

[1] Dieses geschieht jedesmal beim Waschen des Recipienten nach Beendigung des Versuches, durch das Ansaugen des Wassers in denselben.

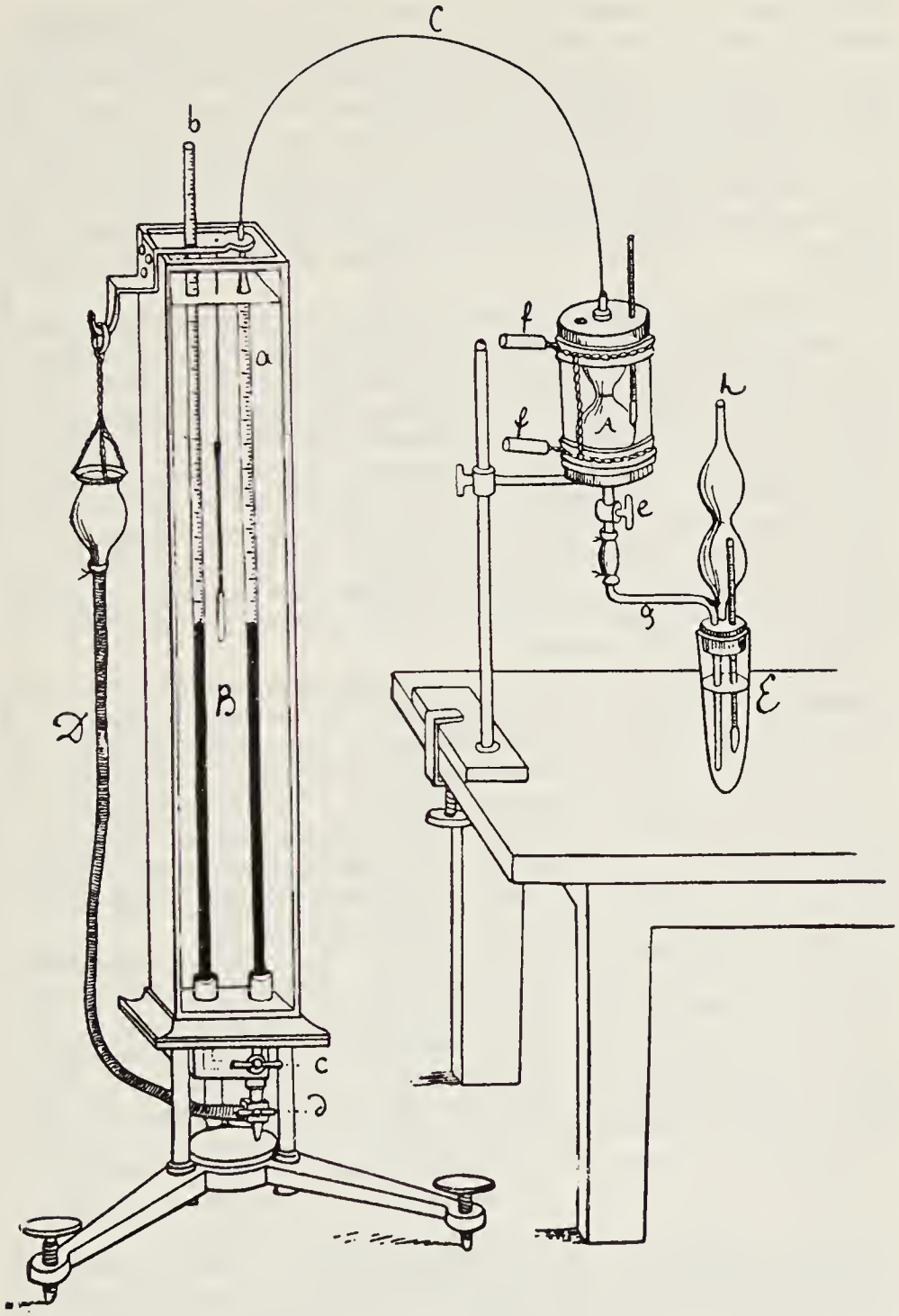


Fig. 1.

Kautschukende des Recipienten *A* mit den Waschflaschen des Kohlensäureregenerators (die 1-e mit $NaHCO_3$-Lösung, die zweite mit Wasser) verbunden. Das Füllen des Apparates mit CO_2 geschieht, mit Hülfe der Luftpumpe, durch wiederholtes Auspumpen und Einlassen des nassen Gases, wobei der Weg zwischen den Manometerröhren stets offen bleiben soll, damit man die Operation bei dem im voraus bestimmten Stande des Quecksilbers in dem Manometer unterbrechen (durch Schliessung des Hahnes *e*) könnte. Nach Abschluss dieser Operation wird die Temperatur des Wassers in beiden Behältern corrigirt und das anfängliche Volumen der Kohlensäure abgelesen.

Hierauf folgt die Operation der Befreiung der zu untersuchenden Flüssigkeit von den darin aufgelösten Gasen und das Ueberführen derselben in den Recipienten *A*. Zu dem Ende wird in das unterhalb des Hahnes *e* befindliche Kautschuk das Saugrohr *g* des Gefässes *E* (mit der zu untersuchenden Flüssigkeit) fest eingebunden, das letztere in heisses Wasser gesenkt und das Kugelrohr *h* in Verbindung mit einer arbeitenden Luftpumpe gebracht. Ist die Operation des Entgasens zu Ende, so darf die Arbeit der Pumpe so lange noch nicht unterbrochen werden, bis man die Flüssigkeit in *E* durch das Erkalten des letzteren im Eiswasser auf die beabsichtigte Temperatur des Versuches zurückgebracht hat (dieses wird durch das in *E* befindliche Thermometer angezeigt). Erst dann geschieht das Ueberführen der Flüssigkeit in den Recipienten.

War das Gas in den Apparat unter einem in Vergleich mit dem Barometerstand niedrigeren Druck eingeführt, was gewöhnlich der Fall ist, so besteht die letztgenannte Operation einfach in dem Einlassen von Luft in das Gefäss *E* mit dem darauf folgenden vorsichtigen Oeffnen des Hahnes *e*.—Die Flüssigkeit steigt, so zu sagen, von selbst in den Recipienten *A* ein; und da das Saugrohr *g* dieselbe vom Boden des Gefässes schöpft, andererseits das Niveau der Flüssigkeit ohne jegliche Erschütterung sinkt, so entsteht aus dem Eindringen von Luft in *E* kein Schaden für den gasfreien Zustand der in den Recipienten übergehenden Flüssigkeit.

2. Der summarische mittlere Werth der dieser Methode anhaftenden Fehlergrössen lässt sich aus den Absorptionsversuchen mit Wasser, namentlich aus den Abweichungen der durch das Verfahren erhaltenen Resultate von dem Dalton'schen Gesetze der Gasauflösung in den Flüssigkeiten ableiten. Diese Prüfungsweise der Methode ist in unserem Falle deshalb zulässig, weil einerseits die Gültigkeit des genannten Gesetzes für Druckwerthe innerhalb einer Atmosphäre durch die Versuche von Louguinine und Khanikoff[1] bewiesen ist, andererseits die Druckschwankungen auch in meinen Versuchen sich innerhalb einer Atmosphäre bewegen werden.

Diese Versuche sind in der nächstfolgenden Tabelle I zusammengestellt, wo *V* das Volumen der Flüssigkeit (in ccm), *t* die Temperatur des Versuches; *p* der Druck (in mm); und *A* die totalen Absorptionsgrössen red. auf 0° u. 1 M. Druck), ebenfalls in ccm., bedeuten. In den zwei nächsten Spalten sind ferner die Abweichungen der erhaltenen Resultate

[1] Ann. de ch. et de phys. Quatr. série. T. XI. 1867.

von dem Dalton'schen Gesetz und in der letzten die Lösungscoeffcienten im Bunsen'schen Sinne angegeben.

Tabelle I.

№	V	t	p	A	$A_1\frac{pm}{p_1}$	Diff. in Ccm.	y
1	50,179	37°—37,5° C.	432,55 570,68	12,35 16,42	16,30	+0,12	0,569 0,573
2	»	»	369,85 475,95	10,57 13,51	13,57	—0,06	0,569 0,569
3	37,05	24° C.	771,42 874,87	22,07 24,96	25,03	—0,07	0,772 0,772
4	37,35	23° C.	774,39 889,17	23,05 26,52	26,46	+0,06	0,796 0,796
5	45,65	21,7° C.	673,50 812,75	25,30 30,68	30,53	+0,15	0,823 0,827
6	37,20	21° C.	764,31 867,79	23,84 27,07	27,07	0	0,838 0,838
7	45,60	19,3° C.	653,75 849,43	26,34 34,33	34,22	+0,11	0,883 0,886
8	45,84	18,38° C.	634,26 903,00	26,05 37,10	37,09	+0,01	0,896 0,8[illegible]
9	45,84	17,6° C.	645,63 814,43	27,51 34,91	34,78	+0,13	0,929 0,935
10	32,20	17,1° C.	767,00 918,80	23,78 28,22	28,25	—0,03	0,961 0,961
11	45,60	15,2° C.	563,67 718,28	25,96 33,15	33,08	+0,07	1,010 1,012
12	45,72	»	654,33 866,10	30,15 40,13	39,91	+0,22	1,008 1,013
13	36,65	15,2° C.	721,10 804,90 874,50	26,73 29,71 32,34	29,83 32,39	—0,12 —0,05	1,011 1,007 1,009
14	37,05	15,2° C.	718,50 814,40 875,20	26,87 30,44 32,67	30,46 32,73	—0,02 —0,06	1,009 1,009 1,008

Somit fallen die Abweichungen von dem Dalton'schen Gesetz meist auf die 2-te Decimale der totalen Absorptionsgrössen und auf die 3-te der Lösungscoefficienten. Dasselbe haben auch die weiter unten zu besprechenden Versuche mit den zur Kohlensäurr indifferenten Salzlösungen ergeben.

3. Der oben erwähnte Grund, welcher mich zu der Arbeit mit den Salzlösungen bewog, setzte in erster Linie Versuche mit solchen Salzlösungen voraus, welche mit CO_2 chemisch reagiren; auch bilden diese Versuche den 1-ten Theil der vorliegenden Abhandlung. Bevor ich jedoch zu deren

specieller Beschreibung übergehe, muss noch des von Fernet und L. Mayer in die Absorptiometrie eingeführten Verfahrens erwähnt werden, die durch die chemisch bindenden Flüssigkeiten gelieferten Absorptionsgrössen zu berechnen. Von dem Gedanken ausgehend, dass das durch solche Flüssigkeiten absorbirte Gas zunächst die chemischen Anziehungen der letzteren zu sättigen hat und erst hierauf sich in der indifferent gewordenen Flüssigkeit auflöst, zerlegen die beiden Forscher die bei je zwei verschiedenen Druckhöhen erhaltenen Absorptionsgrössen in 2 Theile, von denen der eine unabhängig vom Drucke bleibt und der andere proportional demselben sich ändert.

Wird demnach mit V das Volumen der Flüssigkeit, mit p_1, p_2, p_3 die Druckhöhen; mit A_1, A_2, A_3 die entsprechenden totalen Absorptionsgrössen (auf 0° u. 1 M. Dr. red.); mit x der chemische Absorptionscoefficient (ebenfalls auf 0° u. 1 M. Dr. red.), d. h. die auf die Volumeneinheit der Flüssigkeit bezogene chemische Absorptionsgrösse; endlich mit y der Lösungscoefficient im *Bunsen*'schen Sinne bezeichnet; so hat man für 3 absorptiometrische Bestimmungen mit steigenden Druckhöhen, p_1, p_2, p_3:

$$\left.\begin{aligned} Vx + V\frac{p_1}{1000}y &= A_1 \\ Vx + V\frac{p_2}{1000}y &= A_2 \\ Vx + V\frac{p_3}{1000}y &= A_3 \end{aligned}\right\} \quad \text{oder} \quad \left.\begin{aligned} x + \frac{p_1}{1000}y &= \frac{A_1}{V} \\ x + \frac{p_2}{1000}y &= \frac{A_2}{V} \\ x + \frac{p_3}{1000}y &= \frac{A_3}{V} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (1).$$

Woraus

$$\left.\begin{aligned} \frac{A_2 - A_1}{p_2 - p_1} &= \frac{Vy}{1000} \\ \frac{A_3 - A_2}{p_3 - p_2} &= \frac{Vy}{1000} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2).$$

Somit geschieht die Absorption in solchen Fällen derart, dass die totalen Absorptionsgrössen nicht mehr den entsprechenden Druckwerthen, sondern nur die Differenzen der aufgenommenen Kohlensäurevolumina den entsprechenden Druckdifferenzen proportional bleiben.

Der Quotient $\frac{A_2 - A_1}{p_2 - p_1}$, ist in jedem einzelen Versuche leicht zu finden und kann zur Bestimmung sowohl der totalen chemischen Absorptionsgrösse Vx als des Lösungscoefficienten y benutzt werden. Setzt man in der That

$$\frac{A_2 - A_1}{p_2 - p_1} = V\frac{y}{1000} = Q,$$

so ist

$$y = \frac{Q \cdot 1000}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3).$$

Wird andererseits der letzte Ausdruck für y in die Gleichung

$$Vx = A - \frac{V \cdot p \cdot y}{1000}$$

eingesetzt, so erhält man

$$Vx = A - p \cdot Q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4).$$

Der Grundgedanke von L. Meyer und Fernet, über die Zusammensetzung der Absorptionsgrössen aus zwei Bestandtheilen ist allerdings richtig; die von den Formeln vorausgesetzte scharfe Trennung derselben passt jedoch auf die Er cheinungen nur in sehr seltenen Fällen und auch in diesen nur unter sehr beschränkten Bedingungen; aus diesem Grunde war ich genöthigt mich nach anderen Mitteln zur Berechnung der Resultate umzusehen, und dieses gelang mir in einigen Fällen vollständig. Andererseits erwies sich die Benutzung der angegebenen Formeln doch als nützlich, da sie, wie wir sehen werden, einen Einblick in den Zustand der chemisch gebundenen CO_2 in der Lösung gestattet.

Als Physiologe habe ich die Arbeit mit den Salzlösungen in der Hoffnung unternommen, eine Erklärung in ihrem Verhalten gegen die Kohlensäure für die entsprechenden Thatsachen am Blute finden zu können. Auch hatte ich im Beginne der Arbeit nur Salze mit schwachen Säuren im Auge; dementsprechend wurde zur Untersuchung folgende Reihe von Salzen genommen:

Na_2CO_3; Na_2HPO_4; $NaC_2H_3O_2$; $Na_3C_6H_5O_7$; $Na_2C_2O_4$, u. $NaC_3H_5O_3$.

Die meisten Versuche wurden bei 15,2°C angestellt weil der dieser Temperatur entsprechende Lösungscoefficient der Kohlensäure im Wasser nahe gleich 1 ist, wodurch die Berechnung der Versuchsresultate sehr erleichtert wird.

I. VERSUCHE MIT SALZLÖSUNGEN, WELCHE DIE KOHLENSÄURE CHEMISCH ABSORBIREN.

Neutrales kohlensaures Natron

4. Hier steht in erster Linie das zuerst von *Fernet* für schwache Lösungen von Na_2CO_3 formulirte, späterhin von *L. Meyer* und *Heidenhain* bestätigte Absorptionsgesetz, nach welchem die Reaction der Flüssigkeit mit dem Gase in der Umwandlung von Na_2CO_3 in $2(NaHCO_3)$ nebst Auflösung der Kohlensäure in der indifferent gewordenen Bicarbonatlösung besteht. Die zweite Angabe von *Fernet* bezieht sich auf die Grösse der Lösungscoefficienten, welche er (für die Concentrationsgrenzen seiner Lösungen) beinahe gleich derjenigen des *Bunsen*'schen Coefficienten für das Wasser der entsprechenden Temperaturen gefunden hat.

Meine eigenen Versuche ergänzen die Befunde meiner Vorgänger insofern, als ich den allgemeinen Gang der Erscheinungen in seiner Abhängigkeit von dem Druck und der Concentration der Lösung mehr zu präcisiren suche und auch die Abweichungen der Erscheinungen von dem Grundgesetze mitberücksichtige.

In der gleich anzuführenden Zusammenstellung aller meiner Versuche mit Na_2CO_3 haben die Bezeichnungen V, t, p und A dieselbe Bedeutung, wie in der Tab. I. Die Zahl n der zwei Spalten, unter y und Vx, sind aus den totalen Absorptionsgrössen nach den Formeln von *Fernet* berechnet. In der letzten Spalte sind die wahren chemischen Absorptionsgrössen angeführt. Endlich sind einigen Versuchen noch die Concentrationen der Lösung (in gr. Na_2CO_3 auf 100 ccm Lösung) und das erwartete Volumen der che-

mischen Bindung (auf 0° u. 1 M. red.) im Sinne der Umwandlung des neutralen Salzes in das saure (im Verhältnisse von 22 auf 53) beigegeben.

Tabelle II.

№	Concentr.	V	t	p	A	y	Vx	Corrig. Vx
15	100 ccm. Lösung enth. 0,141 gr Na_2CO_3; erwart. Vx = 10,31 ccm.	45,62	15,2° C	129,54 138,44	16,151 16,482	0,8152	11,34	10,18 10,10
16		»	»	356,48 407,50 427,50	26,497 28,999 29,969	1,0749 1,063	9,01 9,24	10,07 10,22 10,30
17		»	»	497,05 553,90 608,91	30,907 35,593 38,285	1,844 1,066	—10,06 8,46	8,00 10,07 10,23
18		»	»	605,99 723,29 845,97	37,888 43,347 49,165	1,0199 1,039	9,69 9,0	9,96 9,98 10,19
19		»	18,2° C.	633,34 733,03 861,34	36,130 40,541 45,934	0,969 0,9213	8,12 9,74	9,84 10,11 10,18
20		»	12,0° C.	560,28 649,89 799,79	38,149 42,675 50,393	1,1069 1,126	9,86 10,00	10,00 10,00 10,19
21	100 ccm. Lös. enth. 0,07 gr. Na_2CO_3; erw. Vx = 5,15 ccm.	»	15,2° C	246,19 275,92 293,87	16,028 18,074 18,197	1,508 1,150	— 0,91 10,18	4,68 5,36 4,65
22		»	»	417,34 468,11 528,05	24,024 26,285 29,408	0,9761 1,142	5,44 1,9	4,80 4,70 5,10
23		»	18,2° C.	476,42 549,19 583,68	24,787 28,106 29,665	0,999 0,999	3,07 3,28	5,01 5,31 5,43
24		»	12,0° C.	375,73 429,68 485,50	23,192 25,917 28,927	1,1069 1,141	4,22 3,56	4,30 4,32 4,53
25	45,62 ccm. Lös. enth. 0,265 Na_2CO_3 Erw. Vx = 42,5 ccm.	45,62	15,2° C.	523,08 644,77 784,22	60,803 66,132 71,397	0,960 0,8276	37,90 41,79	39,49 39,86 39,46
26		50,179	15,2° C.	28,69 540,06 719,59	14,409 41,015 50,004	1,03 0,997	12,92 13,97	12,95 13,64 13,53
27		»	»	73,66 466,54 524,64 607,67	13,128 32,881 35,745 40,122	1,00 0,982 1,05	9,43 9,88 8,09	9,39 9,24 9,15 9,33

Das erste, was in den Zahlen dieser Tabelle in die Augen fällt, sind die Schwankungen der nach den Formeln von *Fernet* berechneten Lösungscoefficienten und der chemischen Absorptionsgrössen (unter y und Vx). Die Lösungscoefficienten sollten nach *Fernet* bei gleicher Temperatur constant bleiben und etwas niedriger als die des Wassers der entsprechenden Temperaturen sein; anstatt dessen sehen wir, dass sie beinahe überall die Lösungscoefficienten des Wassers übertreffen (diese sind für 15,2° und 18,2° C, nach meinen Versuchen, und für 12° C, nach Bunsen, der Reihe nach gleich 1,01; 0,91 und 1,1018). In dem Vers. 17 ist die Schwankung sogar so hoch ausgefallen, dass dadurch eine für Vx unsinnige negative Zahl erhalten wurde; obgleich der Versuch nicht sehr fehlerhaft war, wie es die daneben stehenden corrigirten Zahlen zeigen. Die Schwankungen der Lösungscoefficienten sind von L. Meyer und Heidenbain nicht unbemerkt geblieben, sie liessen jedoch die Thatsache ohne Erklärung. Dieselbe ist jedoch leicht zu erklären. In einer durch CO_2 gesättigten $NaHCO_3$-Lösung kann unmöglich eine scharfe Grenze zwischen dem chemisch gebundenen und dem aufgelösten Gase existiren, weil in $NaHCO_3$ ein Theil der Kohlensäure locker gebunden ist, und die lockere Bindung, wie wir sehen werden, stets einen von dem Drucke abhängigen Zustand für einen Theil des gebundenen Gases vorraussetzt. Es muss also in solchen Flüssigkeiten ein Theil der chemisch gebundenen CO_2 sich zu dem aufgelösten Gase hinzuaddiren und den Lösungscoefficienten erhöhen, welcher in unserem Falle ohne dies beinahe gleich dem des Wassers ist [1].

Gleichzeitig mit dieser Erklärung entstand die Frage, ob es doch nicht möglich ist die wahre Grösse der Lösungscoefficienten zu finden. Dieselbe liess sich auf folgende Weise entscheiden.—Hat man mit so schwachen Salzlösungen zu thun, wie es die unserige stärkste (von 0,141 gr. in 100 ccm) ist, so kann a priori behauptet werden, dass ihr Lösungscoefficient nicht weit von dem des Wassers abstehen kann, und folglich keine merkliche Aenderung durch die Verdünnung der Lösung mit Wasser erleiden kann. Sind demnach zwei Lösungen gegeben, von denen die zweite die zweimal verdünntere ist, und absorbiren beide die Kohlensäure unter gleichem Druck, so müssen die totalen Absorptionsgrössen solcher Lösungen sich nur um die chemische Absorptionsgrösse voneinander unterscheiden; und zwar muss diese Differenz die chemische Bindungsgrösse der verdünnten Lösung darstellen, während die der unverdünnten zweimal so gross sein muss. Unter unseren Versuchen können zu diesem Zwecke die 3-te Bestimmung des Vers. 16 und die 1-e des Vers. 22 dienen, wo die Druckhöhen nicht weit voneinander abstehen. Die Differenz zwischen den entsprechenden totalen Absorp-

---

[1] Was die unsinnige Anomalie des Versuches 17 anbelangt, so lässt sie sich dadurch erklären, dass von den drei absorptiometrischen Bestimmungen dieses Versuches die 1-e etwas zu klein und die zweite gerade hierdurch etwas zu gross ausfiel, wodurch der Zähler des Bruches $\frac{A_2-A_1}{p_2-p_1}$ stark vergrössert wurde. Bedenkt man zudem, dass bei der Sättigung einer Flüssigkeit mit Gas die letzten Portionen des Gases etwas schwer einzupressen sind, dass ferner die Operation von starken Erschütterungen der Flüssigkeit begleitet wird, welche dem Einpressen entgegenwirken, so wird das zufällige Vorkommen solcher Anomalien verständlich.

tionsgrössen wollen wir gleich 5 setzen (dieselbe muss gewiss etwas höher sein). Zieht man nun diese Zahl von der Absorptionsgrösse des Vers. 22 oder eine doppelt so grosse von der Absorptionsgrösse des Vers. 16 ab, so bekommt man in beiden Fällen die Zahl 19, welche die ganze Menge des in diesen Versuchen aufgelösten Gases darstellt. Jetzt muss noch der mittlere Druck zwischen beiden Druckhöhen genommen werden, und die Berechnung giebt für den gesuchten Lösungscoefficienten

$$y = \frac{19 \cdot 1\,000}{45{,}62 \cdot 412} = 1{,}01.$$

Der Lösungscoefficient ist also demjenigen des Wassers für die entsprechende Temperatur (15,2° C) gleich.

Die Zahlen der lezten Spalte sind aus diesem Grunde überall (mit Ausnahme des Versuches 25) mittelst der Lösungscoefficienten des Wassers berechnet. Ihre durchschnittliche Grösse ist allerdings etwas kleiner als die erwartete ausgefallen, der Unterschied ist jedoch so unbedeutend, dass an dem Sinne der Reaktion kein Zweifel möglich ist: dieselbe besteht, wie es *Fernet* richtig angegeben hat, *in der Umwandlung des neutralen Salzes in das saure, nebst Auflösung des Gases in der indifferent gewordenen Flüssigkeit.*

Dieser Satz gilt jedoch nur für sehr schwache Lösungen und nur bis zu einer gewissen Grenze der Druckhöhen—beides bezeugen die 3 letzten Versuche der Tabelle.

Im Vers. 25 enthielt die Lösung 0,581 gr. Na_2CO_3 in 100 ccm, die erwartete chemische Absorptionsgrösse (auf 45,62 ccm Lösung) betrug 42,5 ccm CO_2; und die aus den totalen Absorptionsgrössen berechneten Bindungsgrössen sind beinahe um 3 ccm kleiner als die erwartete ausgefallen. In diesem Versuche (mit viel stärkeren Concentration der Lösung, als in den vorigen!), von den zwei nach den Formeln von *Fernet* berechneten Coefficienten fiel der erste offenbar zu hoch und der zweite zu niedrig aus; weil die mittelst dieser Coefficenten berechneten chemischen Absorptionsgrössen (37,90 und 41,79) einen unsinnig grossen Abstand voneinander zeigen, weil ferner diese Grössen im Gegentheil beinahe gleich sind, sobald sie mit einem und demselben Lösungscoefficienten berechnet werden. Kurz, der wahre Lösungscoefficient musste zwischen 0,960 und 0,8276 liegen; auch wurden die Zahlen der letzten Spalte mittelst $y = \frac{0{,}960 + 0{,}8276}{2}$ berechnet. Die wichtige Bedeutung dieser Thatsache wird später im Zusammenhang mit der gleichen Thatsache an der nächst anzuführenden Salzlösung besprochen.

In den zwei letzten Versuchen der Tabelle suchte ich diejenige Druckhöhe zu finden, von welcher an, die Umwandlung des neutralen Salzes in das saure zu sinken beginnt. Der Versuch 26 zeigt deutlich an, dass diese Grenze etwa gegen 30 mm Hg liegt. Sicher ist es jedenfalls, dass die Bicarbonatbildung bei 50 mm Hg noch völlig besteht, d. h. bei jener CO_2-Spannung, unter welcher das Blut dieses Gas in den Geweben absorbirt.

Endlich zeigen die Vers. 19, 20, 23 und 24 an, dass unbedeutende Schwankungen der Temperatur keinen Einfluss auf die Bicarbonatbildung haben

Neutrales phosphorsaures Natron
(Na_2HPO_4,12H_2O)

5. Die ersten absorptiometrischen Versuche mit diesem Salz wurden ebenfalls von Fernet angestellt und ergaben ihm Folgendes: 1) eine chemische Bindung von 2CO_2 auf 1 Aeq. Salz (bei C = 6 und O = 88), wobei das Salz sich nach ihm in eine dem Bicarbonat ähnliche Verbindung (PO_5, 2CO_2) (2NaO, HO) umwandelt, und 2) die daneben stattfindende Auflösung der Kohlensäure mit einem Çoefficienten, welcher etwas niedriger als der des Wassers ist, und zwar desto niedriger, je concentrirter die Lösung.

Diese Versuche wurden später von L. Meyer und Heidenhain wiederholt, wobei die beiden Forscher gefunden haben, dass die erste Angabe von Fernet nur für sehr schwache Salzlösungen richtig ist. Nebst diesem haben sie bemerkt, dass die aus den totalen Absorptionsgrössen nach der Regel von *Fernet* abgeleiteten Lösungscoefficienten gewöhnlich diejenigen des Wassers für die entsprechende Temperatur übertreffen, und zwar desto stärker, je concentrirter die Lösung ist.

Was die theoretische Ansicht von Fernet über die Reaction zwischen dem Phosphat und der Kohlensäure anbelangt, so bleibt dieselbe bis jetzt im Gange trotz ihrer offenbaren Künstlichkeit und trotz der schon von Berzelius ausgesprochenen viel einfacheren Vermuthung [1], dass sie in einer Zersetzung des Phosphats durch Kohlensäure mit Bildung zweier sauren Salze besteht. Da das von *Fernet* angegebene Absorptionsverhältniss von 2CO_2 auf 1 Aeq. Salz, bei der neuen Bezeichnungsweise auf 1CO_2 zurückkommt, so würde nach dem Gedanken von Berzelius die Reaction nach der Formel

$$Na_2HPO_4 + CO_2 + H_2O = NaH_2PO_4 + NaHCO_3$$

erfolgen.

Diese Uneinigkeit in den Ansichten erklärt sich übrigens daraus, dass die Frage über die Constitution der Phosphate erst in neuerer Zeit durch die thermochemischen Untersuchungen von Berthelot und Louguinine [2] aufgeklärt worden ist.

Der wichtigste Punkt für unsere Frage in dieser Untersuchung besteht darin, dass die der Umwandlung von NaH_2PO_4 in Na_2HPO_4 entsprechende Wärmeproduction derjenigen der directen Bildung von $NaHO+CO_2=NaHCO_3$ nahezu gleich ist (11,6 gegen 11,0).

Nun setze man für einen Augenblick den Fall als möglich voraus, die Wärmeproductionen seien beiderseits einander gleich; dann liesse sich das Verhältniss durch folgendes Bild

$$NaH_2PO_4 \quad NaHO \quad CO_2$$

versinnlichen, worin die beiden Endglieder, als gleich starke Säuren, gleiche Anziehungen auf das mittlere Glied ausüben. Auf unseren Fall der Einwir-

---

[1] Dieses entnehme ich aus der Arbeit von L. Meyer und Heidenhain.

[2] Rech. therm. sur l'ac. phosph. et sur la constit. des phosphates. Ann. de ch. et de phys. 5 série. T. IX, 1876, p. 23—43.

kung von CO_2 auf die Lösungen von Na_2HPO_4 übertragen, könnte das Bild sogar eine reelle Bedeutung, d. h. als ein wirklich bestehender Erfolg der Reaction des Gases mit der Flüssigkeit, bekommen. Es ist in der That einleuchtend, dass dem Bilde ein im Gleichgewicht befindlicher chemischer Complex von Stoffen entsprechen kann, welcher den von Fernet vermutheten Process nur in anderer Form wiedergiebt und in welchem auch die von Berzelius gemeinte Reaction—diese aber nur virtuell—mitenthalten ist, da sie ein Zerfallen des Complexes in zwei saure Salze voraussetzt, was hier, wegen der Untheilbarkeit des mittleren Gliedes und der Gleichheit der beiderseitigen Anriechungen auf dasselbe, unmöglich ist.

Principiell ist also die hier gemeinte Form der chemischen Reaction zwischen CO_2 und Lösungen von Na_2HPO_4 möglich, und es kann nur noch die Rede von den Bedingungen sein, unter welchen die Anziehungen von NaH_2PO_4 und CO_2 auf NaHO einander gleich sein können.

Die bejahende Antwort hierauf befindet sich in derselben Abhandlung von Berthelot und Louguinine, da diese Forscher einerseits deutliche Zersetzungszeichen schon an 3%-gen Lösungen von Na_2HPO_4, bei zweifacher Verdünnung derselben mit Wasser, sahen; andererseits das oben angegebene Verhältnis der Wärmeproductionen (11,6 gegen 11,0) von ihnen an Lösungen von Na_2HPO_4 (1,42 gr. Salz in 100 ccm Lös.) beobachtet wurde, deren Concentration bei weitem diejenige übertrifft [1], für welche die Fernet'sche Reaction gilt. Hätten sie mit anderen Worten ihre Versuche an verdünnteren Lösungen angestellt, so würden die Wärmeproductionen schliesslich einander gleich ausfallen.

Dem sogenannten Fernet'schen Salz entspricht also ein nur in der Flüssigkeit bestehender chemischer Complex von Stoffen, dessen Bild oben angeführt ist.

Nach diesen unentbehrlichen Praeliminarien gehe ich zu den absorptiometrischen Versuchen über, welche im Grunde nur eine Wiederholung der Versuche meiner Vorgänger darstellen.

Zu den in der nächstfolgenden Tab. III zusammengestellten Versuchen wurde das wasserhaltige Salz genommen; folglich entspricht der Fernet'schen Reaction die chemische Absorptionsgrösse von CO_2 in dem Verhältnisse von 44 auf 358. Am Schlusse der Tabelle sind einige Versuche von L. Meyer und Heidenhain angeführt, da ich selbst keine Versuche mit starken Lösungen gemacht habe. Die Bezeichnungen sind dieselben wie in der vorigen Tabelle.

Die Zahlen der Tabelle zeigen augenscheinlich, dass die Lösungen von Na_2HPO_4 gleich denen von Na_2CO_3—die Kohlensäure schwach chemisch absorbiren, indem auch hier die aus den totalen Absorptionsgrössen nach der Regel von Fernet abgeleiteten Lösungscoeffcienten (die Zahlen in der Spalte sub *y*) durchweg höher als die Coefficienten des Wassers sind und die chemischen Absorptionsgrössen (corrig. Vx im Vers. 36) eine Abhängigkeit von dem Drucke zeigen. Der Unterschied zwischen beiden Fällen ist ein rein quantitativer und bezieht sich auf folgende 2 Punkte: zeigt erstens in den

[1] Die Fernet'sche Reaction kommt an den Lösungen zu Stande, welche 0,7—0,8 gr. Na_2HPO_4, $12H_2O$ in 100 ccm Lös. enthalten und welche mit CO_2 gesättigt keine Trübung mehr mit $BaCl_2$ geben.

Tabelle III.

№	V	t	p	A	y	Vx	Corrig. Vx
	0,358 gr. Na_2HPO_4, $12H_2O$ in 45,62 ccm. Lös. Erw. Vx = 17 ccm.						
28	45,62	15,2° C	563,49 643,38 729,64 786,53	42,010 45,951 50,159 52,810	1,081 1,069 1,021	14,22 14,56 16,16	16,82 17,19 17,54 17,65
29	46,62	15,2° C.	317,66 379,00 588,10	27,959 31,367 41,043	1,200 1,039	10,57 13,05	13,33 13,85 14,00
30	»	»	670,19 751,09 833,18	44,937 48,758 52,820	1,035 1,084	13,28 11,60	14,05 14,15 14,43
31	»	18,2° C.	598,91 693,22 828,51	39,052 43,281 49,118	0,9829 0,9456	12,2 13,38	14,19 14,41 14,73
32	»	12° C.	660,11 788,96	47,188 53,626	1,095	14,22	14,04 14,01
33	»	15,2° C.	376,14 443,86 744,99 870,77	24,610 28,036 41,960 47,757	1,108 1,010	5,58 7,62	7,28 7,54 7,64 7,63
34	»	18,2° C.	629,04 734,80 859,39	33,659 38,216 43,551	0,9443 0,9388	6,56 6,76	7,55 7,72 7,78
35	»	1 ° C.	599,78 709,21 823,53	37,503 43,121 48,882	1,125 1,104	6,72 7,43	7,38 7,50 7,52
36	50,179	15,2° C	180,15 515,31 590,10 719,15	19,483 37,576 41,592 48,057	1,183 1,067 0,996	9,75 9,97 12,09	10,71 12,49 12,87 13,05
	Aus den Vers.[1] von L. Meyer u. Heidenhain. 100 ccm Lös. enth. 9,0975 gr. Salz.: erwart. Vx auf 40,64 ccm Lös. = 175,6 ccm.						
	40,64	14,87° C. 14,67° C. 14,47° C. 14,77° C.	519,07 613,30 713,87 799,41	95,30 103,66 110,05 115,58	2,18 1,56 1,59	82,64 88,71 92,64 96,09	

Lösungen von Na_2HPO_4 die chemische Bindung von CO_2 eine grössere Abhängigkeit von dem Drucke; sind zweitens die Lösungscoefficienten (für gleich schwache Lösungen) etwas niedriger, als die Coefficienten der Na_2CO_3-Lösun-

[1] L. c. p. 113 Versuchsreihe X, 1-e Concentr.

gen. Das erste ergiebt sich daraus, dass in schwachen Lösungen von Na_2CO_3 die chemische Bindung von CO_2 bei 15,2° C erst gegen 30 mm Dr. zu fallen beginnt; während dieses hier schon bei dem Herabsinken des Druckes auf 300 mm merklich (Vers. 29 u. 30), und bei 180 mm Druck ganz deutlich ist (Vers. 36). Dieser Unterschied ist jetzt leicht zu erklären. Bestände die Reaction von CO_2 mit Na_2HPO_4-Lösung, nach der Idee von Berzelius, in einer Bildung von NaH_2PO_4, und $NaHCO_3$; so würde die Na_2HPO_4-Lösung die von ihr chemisch absorbirte CO_2 offenbar ebenso stark wie eine mit CO_2 gesättigte Na_2CO_3-Lösung festhalten; da aber, unserer Auffassung des Processes gemäss, der Zusammenhang zwischen NaH_2PO_4 und NaHO durch die Einwirkung von CO_2 nur zur Hälfte aufgehoben wird, so muss natürlich der Zusammenhang zwischen dem letzteren und der Kohlensäure schwächer als in $NaHCO_3$ sein. Der zweite Unterschied, bezüglich der Lösungscoeffcienten, wurde schon von Fernet bemerkt, indem er das Zunehmen ihrer Grösse mit der Verdünnung auch schwacher Lösungen constatirt hatte. Dasselbe hat sich auch in meinen Versuchen ergeben, als ich behufs der Bestimmung der wahren Lösungscoefficienten [1] die Lösungen der Versuche 38—41 zweifach mit Wasser verdünnte und die chemischen Absorptionsgrössen (corrig. Vx) sowohl in diesen als in den verdünnten mit gleichen Lösungscoefficienten (namentlich mit den Coefficienten des Wassers für 15,2°; 18,2° u. 12° C.) berechnete. Die Zahlen in den Versuchen 42—44 sollten, bei Gleichheit der Coefficienten, zweimal kleiner sein, als die der unverdünnten Lösungen; sie sind aber durchschnittlich höher ausgefallen. Dieser Unterschied zwischen den schwachen Lösungen von Na_2CO_3 und Na_2HPO_4 ist übrigens sehr klein.

Der letzte Punkt in dem Verhalten der Na_2HPO_4-Lösungen gegen CO_2, welcher einer Erläuterung bedarf, ist die von L. Meyer u. Heidenhain sowohl für die Phosphat- als für die Na_2CO_3-Lösungen festgestellte Thatsache des Zurückbleibens der chemischen Absorption hinter der Grenzreaction, welches desto stärker ausgesprochen ist, je concentrirter die Lösung ist. Den schärfsten Ausdruck dieses Verhaltens bieten die der Tabelle III beigefügten Versuche der oben genannten Forscher en einer am meisten concentrirten Lösung von Na_2HPO_4 (unter den von ihnen gebrauchten).

Hätte diese Lösung die Kohlensäure in dem Verhältnisse von 44 auf 358 chemisch absorbirt, so würde die chemische Absorptionsgrösse auf 40,64 ccm Flüssigkeit bezogen 175,6 ccm CO_2 (auf 0° u. 1 M. Dr. red.) betragen—eine Zahl, welche sogar von der beobachteten höchsten totalen Absorptionsgröse (115) nicht erreicht ist. Versucht man hierbei die chemische Bindung mittelst eines absichtlich zu niedrig genommenen Lösungsoeffcienten zu berechnen, wie ich es mit $y=0{,}6$ gethan habe, so erweist sich die 1-e Absorptionsgrösse nicht halb so gross wie die vorausberechnete. Nebst diesem zeigen die Zahlen der letzten Spalte, im Vergleich mit dem, was wir an den schwachen Lösungen beobachtet haben, eine so grosse Schwankung der chemischen Absorptionsgrössen, dass man glauben könnte, die Abhängigkeit der chemischen Bindung nehme mit der Concentration der Lösungen zu.

Die Thatsache des Zurückbleibens der chemischen Bindung hinter der

[1] Die Bestimmung misslang, weil die Verdünnung die Lösungscoefficienten erhöht.

Fernet'schen Grenzreaction erklärt sich leicht aus dem, was schon oben in Bezug auf das Zustandekommen dieser Reaction angeführt ist: der Grund dafür liegt nämlich darin, dass je concentrirter, resp. je weniger verdünnt die Lösung ist, desto weniger wird in dem dissociirten Salze der Zusammenhang zwischen der Säure und der Base aufgelockert und einen desto grösseren Widerstand leistet alsdann das Salz der zersetzenden Einwirkung der Kohlensäure. Bedenkt man hierbei, dass trotz diesem, die absolute Menge des dissociirten Stoffes in den stärkeren Lösungen doch eine grössere ist, so wird der grosse Gehalt an locker gebundener Kohlensäure in den Lösungen von L. Meyer und Heidenhain, ebenso wie die grossen Schwankungen dieser Mengen mit dem Druck (diese sind übrigens wegen des zu klein genommenen Lösungscoeffcienten übertrieben), verständlich.

Zum Schlusse mag noch eine Erklärung für die längst bekannte, jedoch unerklärt gebliebene Beobachtung angeführt werden, nach welcher das Fernet'sche Salz (unser Complex) sich an der Luft bis zum völligen Entweichen der darin enthaltenen CO_2 zersetzt.

Wird die das Fernet'sche Salz enthaltende Lösung ausserhalb der CO_2-Atmosphäre gebracht, so muss mit der Zeit aus der Flüssigkeit nicht bloss ein Teil des darin aufgelösten Gases, sondern auch ein Teil der CO_2 aus dem Salze entweichen, weil sie hier, wie wir sahen, sogar weniger stark als in $NaHCO_3$ festgehalten ist. Es wird dadurch das in dem System

$$NaH_2PO_4 \quad \dot{N}aHO \quad CO_2$$

bestandene Gleichgewicht unmöglich: in Folge der verminderten Anziehung des rechten Endgliedes auf das mittlere wird ein Theil des letzteren nach links hin zu NaH_2PO_4 überzogen; und dieses wird natürlich bis zum Eintreten eines Gleichgewichtzustandes dauern, falls ein solcher möglich ist. Behufs der letzten Frage, denken wir uns, es sei aus dem System $^1/_{10}$ der darin enthaltenen CO_2 entwichen. Dann geht $^1/_{10}$ NaHO zu dem sauren Phosphat über, wodurch die Acidität des letztern ebenfalls um $^1/_{10}$ abnimmt; und da die Grösse des mittleren Gliedes ihrerseits um $^1/_{10}$ abgenommen hat, so wirken jetzt zwei um $^1/_{10}$ verminderte, also einander gleiche, Anziehungen der Endglieder auf das um ebensoviel verminderte Mittelglied. Das Gleichgewicht ist also möglich: auch bleibt dabei die Stärke, mit welcher die CO_2 in dem Complexe festgehalten wird, die frühere. Mit jeder neuen Entweichung des Gases würde sich das nämliche wiederholen; folglich muss das Entweichen der Kohlensäure in dem angezeigten Sinne bis zu den letzten Spuren derselben fortdauern.

Jetzt lassen sich die gesammten Ergebnisse der beschriebenen Versuche folgendermassen resümiren.

Allen Erscheinungen der CO_2-Absorption durch Lösungen von Na_2HPO_4 liegt nebst der zersetzenden Einwirkung von Wasser und CO_2 auf das Salz ein physikalischer Process zu Grunde. Erreicht nämlich die Zersetzung des Salzes die von Fernet für schwache Lösungen angegebene Grenze, so hat noch das Gas die physikalischen Anziehungen der Flüssigkeit zu decken; und zwar muss die Spannung der Kohlensäure, unter welcher die Zersetzung des Salzes stattfand, derjenigen gleich sein, unter welcher CO_2 von der Flüssigkeit aufgelöst ist; sonst wäre das Gleichgewicht des sich gebildeten

chemischen Complexes unmöglich. Ist hingegen die Spannung der Kohlensäure und ihre Menge nicht hinreichend die beiden Erfordernisse zu decken, oder ist die Dissociation des Salzes ungenügend, so erreicht die Reaction um so weniger die Fernet'sche Grenze, je concentrirter die Lösung und je niedriger die Spannung der wirkenden CO_2 ist. Dem inneren Sinne nach stellt jedoch die chemische Reaction auch in diesen Fällen *einen Kampf von zwei Säuren um die Base des Salzes* dar. Ebenso muss natürlich auch die chemische Reaction zwischen CO_2 und Lösungen von Na_2CO_3 aufgefasst werden; mit dem einzigen Unterschiede, dass hier dem Salze von der einwirkenden Säure die Hälfte der Base mit Bildung zweier sauren Salze wirklich entzogen wird.

Essigsaures Natron

$(C_2NaH_3O_2)$.

6. Versuche mit diesem Salz erwiesen sich gegen alle Erwartungen als besonders lehrreich, indem gerade hier alle Charaktere einer schwachen chemischen Bindung des Gases, ebenso, wie die Bedingungen des Zustandekommens der chemischen Reactionen am klarsten hervortraten. Auch haben mich hauptsächlich diese Versuche bewogen, die Untersuchung auf die Salze mit starken Säuren auszudehnen.

Erst will ich die absorptiometrischen Ergebnisse anführen. Dieselben sind in der beigelegten Tab. IV gesammelt.

Wegen der Unmöglichkeit die wahren Lösungscoefficienten dieser Flüssigkeiten zu finden, sind für die ersten 5 Versuche die chemischen Absorptionsgrössen unberechnet geblieben und erst für die viel schwächeren Lösungen der Vers. 42—45 angegeben, da die Lösungscoeffcienten hier nahezu einander gleich sein müssen und nicht weit von dem des Wassers derselben Temperatur abstehen können. Auch sind die entsprechenden chemischen Absorptionsgrössen mittelst des Coeffcienten des Wassers für 15,2° C (1,01) berechenet. Bleibt man einstweilen bei diesen Versuchen stehen, so sind an deren Zahlenangaben alle jene Merkmale der schwachen chemischen Bindung von CO_2 leicht zu constatiren, welche uns die vorigen Versuche ergeben haben: sind namentlich die nach der Regel von Fernet berechneten Lösungscoefficienten durchweg höher als der des Wassers; nehmen die chemischen Absorptionsgrössen mit dem Druck deutlich zu; und fallen dieselben mit der Verdünnung der Lösungen weniger rasch als der Salzgehalt der letzteren herab (man vergleiche hierzu die entsprechenden Zahlen jedes nachfolgenden Versuches mit der des nächsten vorhergehenden).

Dasselbe lässt sich übrigens auch für die stärkeren Lösungen der ersten 5 Versuche beweisen: die nach der Regel von Fernet berechneten Lösungscoefficienten (die Zahlen der vorletzten Spalte) übersteigen auch hier den Lösungscoefficienten des Wassers (sogar stärker als die der schwachen Lösungen); das Zunehmen der chemischen Absorptionsgrössen mit dem Druck lässt sich sofort zeigen, so wie man dieselben in jedem einzelnen Versuche mittelst eines beliebigen gleich grossen Lösungscoefficienten ausrechnet; endlich fehlt auch das dritte Merkmal nicht, wie ich es sogleich zeigen werde.—In den Lösungen des Versuches 38 ist der Lösungscoefficient von

Tabelle IV.

№	Salzgeh. in 100 ccm Lös.	V	t	p	A	y	Vx
37	25,6 gr.	45,62	15,2° C.	444,04 547,97	59,078 66,909	1,651	
38	$\frac{25,6}{4}$	»	»	559,46 630,08 725,35 803,64	40,363 43,977 49,256 53,495	1,121 1,214 1,186	
39	$\frac{25,6}{9}$	»	»	604,52 704,15 849,31	37,737 42,758 50,421	1,104 1,153	
40	$\frac{25,6}{16}$	»	»	628,85 734,99 842,31	36,746 42,249 47,491	1,136 1,070	
41	$\frac{25,6}{25}$	»	»	640,59 711,82 839,10	35,904 39,524 45,706	1,112 1,064	
42	0,8 gr.	»	»	641,95 730,09 847,44	35,136 39,554 45,525	1,098 1,115	5,55 5,91 6,48
43	0,4 gr,	»	»	627,62 714,40 825,88 835,59	32,914 37,182 42,457 43,122	1,037	3,99 4,27 4,41 4,62
44	0,1 gr.	»	»	637,85 836,38	30,558 39,811 (40,07)	1,021	1,17 1,28
45	$\frac{25,6}{4}$	»	11° C.	571,52 669,37 792,36	43,987 49,791 57,060	1,300 1,295	

CO_2 gewiss viel niedriger als der des Wassers bei 15,2° C; folglich ist die in diesem Versuche, für $p = 559{,}46$ mm, mittelst dieses Coeffcienten (1,01), berechnete chemische Absorptionsgrösse, 14,59, gewiss viel niedriger als die wirkliche. Sollte nun die chemische Absorption von CO_2 in den Versuchen 37—41, mit der Verdünnung der Lösungen parallel dem Salzgehalt in den Flüssigkeiten abnehmen, so müsste die Zahl $14{,}59 \times 4 = 58{,}36$ nicht einmal die chemische Absorptionsgrösse im Vers. 37 bei $p = 547{,}97$ mm darstellen; während sie von der entsprechenden totalen Absorptionsgrösse (66,909) nicht viel abweicht. Aus demselben Grunde würde die im Vers. 41, für $p = 640{,}59$ mit $y = 1{,}01$ berechnete chemische Absorptionsgrösse 6,41 kleiner als die wahre sein; und die Zahl $6{,}41 \times \frac{25}{4} = 40{,}0$ die chemische Absorptionsgrösse in dem Vers. 38 für $p = 630{,}08$ darstellen; während hier die totale Absorptionsgrösse nur 43,977 beträgt.

Somit bieten die besprochenen Erscheinungen alle Charaktere einer

schwachen chemischen Bindung von CO_2 dar und sind im Grunde denjenigen analog, welche von L. Meyer und Heidenhain an den Lösungen von Na_2HPO_4 verschiedener Stärke beobachtet wurden.—Hier wie dort tritt namentlich der Einfluss des Druckes auf die chemische Absorption desto schärfer hervor, je concentrirter die Lösungen sind; hier wie dort bestehen die Effecte der Verdünnung darin, dass bei der Abnahme der chemischen Bindung an absoluter Grösse, die relative, d. h. die auf den sinkenden Salzgehalt bezogene, mit der Verdünnung zunimmt. Kurz, *der Process besteht* auch hier *in einem Kampf von Säuren um die Salzbase*, wobei die Verdünnung der Lösung und der Druck des einwirkenden Gases die chemische Reaction befördern.

Nebst dieser Analogie bieten jedoch die Lösungen von Na_2HPO_4 und $C_2NaH_3O_2$ zwei wichtige Unterschiede dar: 1) absorbiren die ersteren, unter gleichen Bedingungen, bedeutend mehr CO_2 als die letzteren (man vergleiche z. B. die totalen Absorptionsgrössen in den oben angeführten Versuchen von L. Meyer u. Heidenhain mit den entsprechenden Grössen des Vers. 37); 2) existirt für die chemische Absorption von CO_2 durch $C_2NaH_3O_2$-Lösungen keine der Fernet'schen Grenzreaction entsprechende Grenze. So beträgt z. B. die chemische Absorptionsgrösse in dem Vers. 44 der Tab. IV nur 1,28 ccm CO_2, während sie hier, dem Salzgehalt und der Fernetschen Grenze nach, 9,45 ccm CO_2 betragen würde (bei der Absorption von 44 auf 82). Es muss dazu noch bemerkt werden, dass die in Rede stehende Lösung bedeutend schwächer ist als diejenigen Lösungen von Na_2HPO_4, welche die Fernet'sche Reaction zu zeigen beginnen. Beide Unterschiede sind übrigens von selbst verständlich: in $C_2NaH_3O_2$ ist die Säure viel stärker als Na_2HPO_4, folglich leistet dieselbe einen viel grösseren Widerstand der Kohlensäure in ihrem Kampf um die Salzbase, wodurch die Zersetzungsgrössen natürlich um vieles kleiner werden.

Der letzte erwähnenswerthe Punkt betrifft ein anderes Ergebniss des Vers. 44. Hier war namentlich die Lösung so schwach, dass die Absorption, trotz der unzweifelhaften chemischen Bindung der Kohlensäure, nach dem Dalton'schen Gesetze erfolgte, wie es die eingeklammerte Zahl $40{,}07 = 30{,}58 \times \frac{836{,}38}{637{,}85}$ darlegt. Später werden wir die Gelegenheit haben diese Thatsache zu besprechen, einstweilen sei nur bemerkt, dass in schwachen Salzlösungen geringe chemische Bindung von CO_2 und Absorption derselben nach dem Dalton'schen Gesetze nebeneinander bestehen können.

Nachdem die Thatsache der chemischen Absorption von CO_2 durch Lösungen von $C_2NaH_3O_2$ festgestellt war, gelang es mir die zersetzende Einwirkung von CO_2 auf dieses Salz durch einen directen Versuch zu beweisen. Der erste Anlass dazu war die alltägliche Erfahrung, nach welcher man zur vollständigen Austreibung der Kohlensäure aus den alkalischen Carbonaten mittelst schwacher Säuren der Mithülfe des Erwärmens bedarf; und in zweiter Linie der Gedanke, dass der Process vielleicht umkehrbar ist. Dementsprechend bestand der oben gemeinte Versuch in der Durchleitung eines CO_2-Stromes durch eine möglichst stark erkältete Lösung von $C_2NaH_3O_2$. Glücklicherweise ertragen concentrirte Lösungen dieses Salzes sehr niedrige Temperaturen ohne zuzufrieren, es war also möglich die Koh-

lensäure stundelang durch ein in Kältemischung stehendes offenes Gefäss mit solcher Lösung zu leiten.

Man spürt mit der Nase beinahe gleich im Anfange des Versuches eine Entwickelung freier Essigsäure. Diese aufzufangen hielt ich jedoch für überflüssig, da in der Lösung deutliche Zeichen der Einwirkung von CO_2 zurückbleiben. Dieselben bestehen, nach einer Durchleitung von 3—4 Stunden, in der Bildung von Natriumcarbonat. Nach Beendigung des Versuches muss natürlich die Flüssigkeit aufgekocht und erst hierauf auf das Vorhandensein von Carbonat geprüft werden. Beim Zugiessen von $BaCl_2$ zu derselben bemerkt man jedoch im ersten Augenblick keine Trübung, der Niederschlag entwickelt sich allmählig (das Erwärmen begünstigt das Zustandekommen desselben) und sammelt sich zuletzt in genügender Menge um in demselben $BaCO_3$ zu erkennen. Viel später erfuhr ich, dass Friedr. Mohr diesem Versuche eine bequemere Form gegeben hat, indem er die Kohlensäure durch eine alkoholische Lösung des Salzes leitete.

Gleiche Versuche und mit gleichem Erfolg (d. h. mit Entwickelung freier Säuredämpfe) wurden noch an den Lösungen von $CNaHO_2$ und $C_5NaH_9O_2$ angestellt. Mit dem letzten Salz besitze ich auch einen gleich anzuführenden absorptiometrischen Versuch. 100 ccm Lösung enthielten circa 10 gr. kryst. Salz.

№	V	t	p	A	y	Vx bei $y = 1$
46	45,62	15,2° C.	604,24 701,99 841,14	39,017 43,832 50,612	1,068 1,068	11,50 11,81 12,34

Schliesslich möchte ich eines möglichen Einwandes gegen die Gültigkeit der aus den absorptiometrischen Versuchen gemachten Schlüsse erwähnen. Es ist wohl möglich, sogar sehr wahrscheinlich, dass sich in dem Apparate bei der Absorption von CO_2 Dämpfe freier $C_2H_4O_2$ und zwar unbekannter Spannung entwickeln, wodurch die totalen Absorptionsgrössen natürlich verfälscht werden. Geschieht dieses wirklich, so muss man in Folge davon überhaupt eine Erniedrigung der totalen Absorptionsgrössen erwarten und zwar eine desto grössere, je mehr Bedingungen zur Entwickelung dieser Dämpfe in der Flussigkeit vorhanden sind. Solche Bedingungen sind aber offenbar für concentrirtere Lösungen und für grössere Druckhöhen im grösseren Masstabe gegeben, als für verdünntere Lösungen und für niedrigere Druckwerthe. In Folge des ersten Umstandes würden die chemischen Absorptionsgrössen mit der Verdünnung allerdings etwas steiler abnehmen, jedoch gewiss nicht in solchem Grade, wie es der Salzgehalt der Lösungen thut; folglich würde der Unterschied in dem Gange der Abnahmen doch in dem früheren Sinne und der darauf gegründete Schluss frei vom Einwand bestehen. Der zweite Umstand, die grössere Erniedrigung der chemischen Absorption mit dem Druck, würde die Abhängigkeit der chemischen Bindung von dem Druck sogar a fortiori beweisen.

Citronensaures Natron

(durch Neutral. von Na_2CO_3 erhalt. u. im kryst. Zust. angew.).

7. Bezüglich der Einwirkung von CO_2 auf die Salze dieser dreibasischen Säure konnte eine viel grössere Complicirtheit der Verhältnisse als in den vorigen Fällen erwartet werden; auch habe ich mich der Analyse dieser Verhältnisse enthalten und führe einige Versuche nur als weitere Beispiele der schwachen chemischen Absorption von CO_2 an. In Vers. 50 der gleich anzuführenden Tabelle sind die chemischen Absorptionsgrössen (Vx) mittelst $y=1{,}01$ ausgerechnet.

Tadelle V.

№	Salzgeh. in 100 ccm	V	t	p	A	y	Vx
47	25 gr.	45,62	15,2° C.	543,05 639,19 770,96	46,854 52,092 58,676	1,194 1,096	
48	$\frac{25}{4}$ gr.	»	»	572,43 666,18 797,15	43,148 48,398 55,325	1,227 1,159	
49	$\frac{25}{16}$ gr.	»	»	600,96 696,72 813,62	38,854 43,708 50,236	1,111 1,224	
50	$\frac{25}{32}$ gr.	»	»	602,51 731,63 836,17	35,662 42,037 47,321	1,082 1,108	7,90 8,33 8,80

Die Erscheinungen bieten offenbar alle Charaktere einer schwachen chemischen Bindung der Kohlensäure dar: die nach der Regel von Fernet berechneten Lösungscoefficienten sind durchweg höher als der Coeffcient des Wassers; die chemischen Absorptionsgrössen nehmen in jedem einzelnen Versuche mit dem Drucke deutlich zu, so wie man dieselben mittelst eines und desselben beliebig grossen Coefficienten berechnet; endlich nehmen diese Grössen mit der Verdünnung der Lösungen weniger rasch als der Salzgehalt der Flüssigkeiten ab. Letzteres wird sofort ersichtlich, so wie man die im Vers. 50 für $p=602{,}51$ mm berechnete chemische Absorptionsgrösse mit 8 multiplicirt und die Zahl $7{,}9 \times 8$ mit der im Vers. 48 für $p=666{,}18$ mm. beobachtete totale Absorptionsgrösse zusammenstellt.

Neutrales oxalsaures Natron

($C_2Na_2O_4$).

8. Hier werden wir mit Spuren von chemischer Bindung zu thun haben, weil das Salz wenig löslich ist und seine Säure zu den starken gehört. Auch haben wir jetzt der Mittel zu erwähnen, wie die chemische Bindung in solchen Fällen zu constatiren ist. Das einfachste Zeichen derselben (gleichviel ob sie schwach oder stark ist), das in Vergleich mit der Druckstei-

gerung langsamere Anwachsen der totalen Absorptiongrössen, kann bei geringer Grösse der chemischen Bindung nicht bloss scheinbar sondern wirklich fehlen, weil das Zurückbleiben der Absorption hinter dem Druck durch das Anwachsen der chemischen Bindungsgrössen mit dem Druck verdeckt werden kann,—der Zustand der chemisch absorbirten Kohlensäure ist ja in Fällen, wo die Säure des Salzes stark ist, stets ein beweglicher.

Tabelle VI.

№	Salzgeh. in 100 Ccm.	V	t	p	A	$A_1 \frac{p_m}{p_1}$	α
51	1,9 gr.	45,62	15,2° C.	650,59 740,86 865,54	29,835 33,849 39,459	33,975 39,693	1,006 1,001 0,999
52	0,95 gr.	»	»	662,52 743,81 879,47	31,211 34,918 41,271	35,040 41,431	1,035 1,029 1,029
53	0,475 gr.	»	»	635,73 720,91 847,34	30,183 33,898 39,838	34,227 40,230	1,040 1,030 1,030
54	0,095 gr.	»	»	654,22 732,62 859,30	30,484 34,189 39,999	34,092 39,988	1,020 1,023 1,020

Die Lösung kann also das Gas nach dem Dalton'schen Gesetze absorbiren. Ist aber hierbei die chemische Bindung doch mit im Spiele, so werden es die aus den totalen Absorptionsgrössen berechneten Bunsen'schen Lösungscoefficienten bezeugen:—dieselben übertreffen alsdann die Lösungscoefficienten der Kohlensäure im Wasser derselben Temperaturen. Diese beiden Proben sind in Tabelle VI den übrigen Zahlen unter den Zeichen $A_1 \frac{p_m}{p_1}$ und α beigegeben.

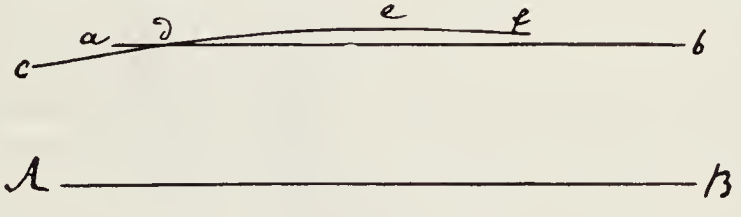


Fig. 2.

Die Probe auf das Dalton'sche Gesetz hat allerdings in allen Versuchen eine Abweichung von dem Gesetz im Sinne der chemischen Bindung ergeben, aber eine so unbedeutende, dass man hieraus keinen sicheren Schluss ziehen könnte; die Zahlenwerthe der Bunsen'schen Lösungscoefficienten sind hingegen sehr überzeugend, wie es ihr Gang mit der Verdünnung zeigt. Wäre namentlich unsere Lösung zur CO_2 völlig indifferent, so würden die

Lösungscoefficienten, mit fortschreitender Verdünnung der Flüssigkeit, beständig anwachsen, sich dem Lösungscoefficienten des Gases im Wasser mehr und mehr nähern, ohne jedoch diesen zu übersteigen. Ist hingegen die Absorption des Gases mit einer geringen chemischen Bindung desselben verbunden, so muss der Gang der Coefficienten unvermeidlich folgende Gestalt annehmen (siehe die beigelegte Figur): wegen des steileren Anwachsens der Lösungscoefficienten (sie werden ja um die chemisch gebundenen Gasmengen vergrössert) muss ihre Curve (*cdef*) das Niveau der CO_2-Absorption durch das Wasser (*ab*) unvermeidlich durchschneiden, sich über dieses Niveau erheben und bei weiterer Verdünnung sich diesem Niveau nähern. Gerade solchen Gang zeigen die Lösungscoefficienten unserer Lösungen.

Milchsaures Natron.

$(C_3NaH_5O_3)$.

9. Das absorptiometrische Verhalten dieses Salzes ist dem des vorigen gleich, nur sind hier, dank der grössseren Löslichkeit des Salzes, sowohl die Zeichen der chemischen Bindung als die Verdünnungseffecte deutlicher als in dem vorigen Falle hervorgetreten. Die Concentration der für den 1-en Versuch gebrauchten Lösung (eine dicke Flüssigkeit von 1,294 sp. Gew.) ist unbekannt geblieben, deshalb sind in der beigelegten Tabelle nur die Verdünnungen derselben (dem Volumen nach) angeführt. Sonst blieben die Bezeichnungen dieselben wie in der vorigen Tabelle.

Tabelle VII.

№	Verdünn.	V	t	p	A	$A_1\frac{p_m}{p_1}$	α
55	1	46,44	15,2° C	498,17 659,24	15,656 19,994	20,718	0,676 0,653
56	3	»	»	461,37 587,69	21,165 25,620	26,960	0,9878 0,9387
57	6	»	»	454,84 571,89	21,611 26,356	27,172	1,023 0,992
58	12	»	»	453,66 564,32	22,259 27,196	27,688	1,056 1,038
59	24	»	»	452,10 562,86	22,526 27,576	28,045	1,072 1,055

Hier sind die Abweichungen der Absorptionserscheinungen von dem Dalton'schen Gesetze nicht spurweise sondern ganz klar ausgesprochen vorhanden, wie es einerseits der die Fehlergrenzen der Methode bei weitem übertreffende Unterschied zwischen den beobachteten und controllirenden Zahlen zeigt, andererseits der Unterschied zwischen je zwei Bunsen'schen Coefficienten jedes einzelnen Versuches darthut. Sonst ist der Gang der Erscheinungen der nämliche wie in dem Falle mit $C_2Na_2O_4$-Lösungen.

Da ich keine weiteren Versuche an den Lösungen von Salzen mit schwachen Säuren (im Berthelot's Sinne) angestellt habe, so mag hier eine kurze Zusammenstellung des Gewonnenen folgen.

Die Erscheinungen der CO_2-Absorption, mit denen wir zu thun hatten, verdanken ihren Ursprung in erster Linie dem dissociirten Zustande der Salze in der Lösung, resp. einer Auflockerung des chemischen Zusammenhanges zwischen seinen Bestandtheilen; und in zweiter Linie der relativen Schwäche der Säuren (in Vergleich mit den starken Mineralsäuren) der aufgelösten Salze.

Hieraus entsteht die Möglichkeit für eine chemische Reaction zwischen der Kohlensäure und dem dissociirten Salze, welche offenbar nur in einem Entziehen dem letzteren eines Theiles seiner Base durch die einwirkende CO_2 bestehen kann.

Kommt dieses Entziehen wirklich zu Stande [wie es die Versuche mit stark diluirten Lösungen von Na_2CO_3 zeigen], oder wird dasselbe nur absorptiometrisch angedeutet, jedenfalls kann die Reaction nur dem Entstehen einer gewissen Menge sauren Carbonats mit dem Freiwerden aus dem Salze einer gewissen Menge seiner Säure entsprechen [wie es die Versuche mit $C_2NaH_3O_2$-Lösungen so klar gezeigt haben]. Infolgedessen kann das Gebundensein der Kohlensäure in der Flüssigkeit nur ein sehr lockeres sein, und zwar ein desto lockereres, je stärker die Säure des Salzes ist [die Absorption von CO_2 durch Lösungen von $C_2Na_2O_4$ erfolgt nach dem Dalton'schen Gesetze].

Die Rolle der Kohlensäure ist bei diesen Processen eine zweifache, indem gleichzeitig mit der chemischen Reaction [oder sogar etwas derselben vorangehend] eine Auflösung des Gases in der Flüssigkeit vor sich geht, da das Salz nur mit dem in der Flüssigkeit aufgelösten Gase reagiren kann. Der aufgelöste Theil des Gases bildet hiermit diejenige Atmosphäre, innerhalb welcher der Zersetzungsprocess zu Stande kommt und welche auch für die Erhaltung der in der Flüssigkeit entstandenen lockeren Verbindung unentbehrlich ist, da sie, wegen der Flüchtigkeit der Kohlensäure, nur innerhalb der CO_2-Atmosphäre bestehen kann.

Dieses ist auch der Grund, warum die Kohlensäure bei dem Processe nicht bloss durch ihre Masse sondern auch durch ihre Spannung wirkt.— Der Wirkung derselben vermöge der Masse entspricht die Abhängigkeit der chemischen Bindungsgrössen scheinbar von dem Druck [im Grunde entsprechen die hierauf bezüglichen Thatsachen dem Zusetzen einer grösseren oder geringeren Menge von Säure zu dem dissociirten Salze]; und seiner Wirkung vermöge der Spannung entspricht der für das Zustandekommen der chemischen Reaction unentbehrliche Sättigungsgrad der Flüssigkeit mit CO_2—es hängt ja die Zersetzungsgrösse des Salzes (resp. die chemische Absorptionsgrösse) von der Masse der einwirkenden Säure ab, und diese geht mit der Spannung des Gases Hand in Hand. Bedenkt man hierbei, dass in der Lösung neben dem Salze auch die durch die Einwirkung von CO_2 auf dasselbe entstandene Verbindung dissociirt ist, wodurch das ohnedies lockere Gebundensein des Gases noch weiter gelockert wird, so ist es leicht zu verstehen, warum ein geringer Theil der chemischen Absorptionsgrössen sich mit den Aenderungen des Druckes wie aufgelöstes Gas verhält.

Diese Erfahrungen sind allerdings nur an wenigen Beispielen gewonnen; bedenkt man jedoch, dass die untersuchte kurze Reihe derselben mit einem Salze beginnt, dessen Säure die schwächste unter den schwachen Säuren im *Berthelot's* Sinne ist, und sich mit einem Salze abschliesst, dessen Lösung die Kohlensäure nach Art der Salze mit starken Mineralsäuren absorbirt; so kann mit Sicherheit behauptet werden, dass die gewonnenen Erfahrungen für alle Salze mit schwachen Säuren zwischen den erwähnten Grenzen gültig sind.

Beilage

Kalkwasser

10. Als Beispiel der Anwendung der absorptiometrischen Methode zur Lösung rein chemischer Fragen, füge ich zum Schluss dieses Abschnittes einige Versuche über die Absorption von CO_2 durch Kalklösungen hinzu, die von mir behufs der Aufklärung der (soviel ich weiss bisher ungelösten) Frage unternommen waren, ob die Auflösung von $CaCO_3$ durch CO_2 einer chemischen Absorption des Gases entspricht, und wenn dies der Fall sein sollte, ob die fragliche Reaction in dem Verhältnisse 2 (CO_2) auf CaO vor sich geht. Die hierauf bezüglichen Versuche sind in der nächstfolgenden Tab. VIII zusammengestellt. Der in der Tabelle angegebene Alkaligehalt der Lösungen so wie die entsprechenden chemischen Absorptionsgrössen (erwartete *Vx*) beziehen sich auf das Volumen der angewandten Flüssigkeiten. Zum Titriren der letzteren (in Vers. 60 und 63) wurden die nach dem Einführen der entgasten Flüssigkeiten in das Absorptiometer zurückgebliebenen Reste derselben genommen. In Vers. 61 und 62 wurde die anfängliche Kalklösung dem Volumen nach 1,5- und 2-fach mit Wasser verdünnt; im Vers. 64 wurde dem Kalkwasser des Vers. 63 Rohrzucker (1 gr. auf 100 ccm Flüss.) zugesetzt. Die zu erwartenden chemischen Absorptiongrössen entsprechen dem Verhältnisse 2 (CO_2) auf CaO (11 auf 7).

Bei bedeutenden Schwankungen der nach der Regel von Fernet berechneten Zahlenwerthen von *y*, die auf einen beweglichen Zustand der chemisch absorbirten CO_2 hinweisen, war ich gezwungen die Mittelwerthe derselben der Berechuung von Vx zu Grunde zu legen; auch sind in den Versuchen 60, 61, 62 und 63 die chemischen Absorptionsgrössen (*Vx* der vorletzten Spalte) mittelst der Coefficienten 0,526, 0,752, 0,826 und 0,803 ausgerechnet. Vergleicht man nun die so erhaltenen Zahlen mit den erwarteten chemischen Absorptionsgrössen, so findet man in den Versuchen 60, 63 und 64 eine nahe Uebereinstimmung derselben, nicht aber in den Vers. 61 und 62, wo eine solche, als in verdünnteren Lösungen, nach unseren früheren Erfahrungen eher zu erwarten war. Der Grund hiervon liegt unzweifelhaft darin, dass hier die *Vx* mittelst zu hoher Werthe von *y* berechnet sind, und dieses lässt sich glücklicherweise sehr leicht zeigen. Bekanntlich verringert jeder Zusatz von Salz zum Wasser die Fähigkeit des letzteren die Gase aufzulösen. Nimmt man also eine beliebige zur Kohlensäure indifferente Salzlösung mit dem Bunsen'schen Lösungscoefficienten α und verdünnt dasselbe Volum auf Volum mit Wasser, so wird der Lösungscoefficient der verdünnten Lösung stets kleiner sein als das arithmetische Mittel

Tabelle VIII

№	Alkaligeh. in g	Erwart. Vx	V	t	p	A	y	Vx	Corrig. Vx
60	0,0495	30,0	36,85	24° C.	602,12 670,52 738,72	40,868 41,998 43,518	0,448 0,604	29,20 29,01 29,20	
61	0,0333	20,2	37,25	»	676,62 718,42 776,87 821,70	34,317 35,440 37,373 38,461	0,714 0,892 0,651	16,20 16,19 16,57 16,46	19,01 19,17 19,79 19,88
62	0,0247	15,0	36,25	»	696,92 747,72 813,82 837,42	31,260 32,857 34,934 35,654	0,891 0,820 0,769	10,16 10,37 10,35 10,30	14,69 15,20 15,62 15,74
63	0,055	33,40	45,73	19,3° C.	589,15 662,42 765,89 870,45	52,490 55,490 59,467 64,158	0,893 0,840 0,981	30,84 31,15 31,33 32,17	
64	»	»	»	»	579,68 638,09 900,84	53,46 55,44 65,85	0,741 0,866	32,16 32,0 32,75	

aus α und dem Coefficienten der CO_2 im Wasser. Diese Grösse kann der Lösungscoefficient erst bei äusserster Verdünnung der Lösung erreichen, wenn die abschwächende Wirkung des Salzes auf das Absorptionsvermögen des Wassers unmerklich geworden ist.

Diesen Umstand wollen wir in unserem speciellen Falle benutzen. Der Lösungscoefficient im Vers. 60 $y = 0{,}526$ erwies sich als annähernd richtig; der Coefficient der Kohlensäure im Wasser bei 24° C ist gleich 0,772 (siehe oben Tab. I); folglich kann im Vers. 61 der wahre Lösungscoefficient nicht grösser als $0{,}526 \times \frac{2}{3} + 0{,}772 \times \frac{1}{3} = 0{,}6077$ und der des Vers. 62 nicht grösser als $\frac{0{,}526 + 0{,}772}{2} = 0{,}649$ sein. Beide Zahlen sind beträchtlich kleiner als die für die Berechnung von Vx (in der vorletzten Spalte) benutzten und müssen offenbar den wahren Coefficienten näher stehen als die letzteren. Auch stehen die mittelst dieser Zahlen berechneten «corrigirten Vx» den erwarteten Absorptionsgrössen sehr nahe.

In allen diesen Versuchen erfolgte die Absorption von CO_2 durch das Kalkwasser so rasch, dass die Auflösung der sich anfangs bildenden Kreide schon zu Ende des ersten Schüttelns der Flüssigkeit mit dem Gase, resp. zu Ende der chemischen Absorption fertig war.

Mithin *entspricht die Auflösung von $CaCO_3$ durch CO_2 der Umwandlung der Kreide in das Saure salz.*

II. VERSUCHE MIT SALZLÖSUNGEN, WELCHE ZU CO_2 CHEMISCH INDIFFERENT SIND

11. Die uns hier bevorstehende Aufgabe besteht, wie in den vorhergehenden Versuchen, in einem absorptiometrischen Vergleich der Salzlösungen zum Zweck ihrer Einordnung in ein System von Uebergangsgliedern. Dort diente uns zum Vergleichungsmasstab der Flüssigkeiten die die Grösse der chemischen Absorption von CO_2 bedingende Beschaffenheit der Salze; und hier,—da die Salze zu CO_2 indifferent sind,—kann derselbe nur in der reciproken Wirkung zwischen Salz und Wasser in der Lösung (d. h. in der bindenden Wirkung des Salzes auf das Wasser und in der dissociirenden Wirkung des letzteren auf das Salz) gesucht werden.—Es ist ja längst bekannt, dass jeder Zusatz von Salz zum Wasser das Absorptionsvermögen des letzteren erniedrigt, und zwar desto stärker je grösser die zugesetzte Salzmenge ist.

Auf Grund dieser Betrachtungen mussten für den ersten Probevergleich solche Salzlösungen genommen werden, deren Salze einen schroffen Gegensatz in Bezug auf ihr Verhalten zum Wasser darböten. Sollten sich hierbei die Lösungen auch in absorptiometrischer Beziehung als schroffe Gegensätze erweisen; so würde man darin den Beweis erhalten, dass der vorgezeichnete Zweck durch die vergleichenden Absorptionsversuche wirklich erreicht werden kann. Diesem Gedanken zufolge wurden für die erste Probe Lösungen von NH_4NO_3 u. NaCl genommen. Die ammoniakalischen Salze zeichnen sich bekanntlich durch eine sehr grosse Dissociirbarkeit aus, und unter ihnen steht das Ammoniumnitrat obenan[1]; anderseits ist die Avidität von NaCl zum Wasser eine allgemein bekannte Thatsache.

12. Versuche mit NH_4NO_3 sind in der nächstfolgenden Tab. IX zusammengestellt. Die vorletzte Spalte enthält Controllzahlen, ob die Absorption dem Dalton'schen Gesetze folgt; und in der letzten Spalte sind die Absorptionscoefficienten im Bunsen'chen Sinneangegeben.

Die Versuche ergeben folgendes:

1) erfolgt die Absorption überall nach dem Dalton'schen Gesetz, wie es die nahe Uebereinstimmung der Controllzahlen mit den beobachteten zeigt und

2) wachsen die Absorptionscoefficienten mit der Verdünnung der Lösungen nach einem und demselben Gesetze continuirlich an:—von je zwei benachbarten Coefficienten stellt nämlich der nachfolgende, seiner Grösse nach, das arithmetische Mittel aus dem Zahlenwerth des vorherigen Coefficienten und dem des Absorptionscoefficienten des Wassers dar

$$\frac{0{,}807 + 1{,}01}{2} = 0{,}909 \text{ (beob. } 0{,}913); \qquad \frac{0{,}911 + 1{,}01}{2} = 0{,}960$$

$$\text{(beob. } 0{,}9615); \qquad \frac{0{,}990 + 1{,}01}{2} = 1{,}0 \text{ (beob. } 1{,}009).$$

Es wurde aber bei den Versuchen mit Kalkwasser gesagt, dass wenn eine zu CO_2 indifferente Salzlösung soweit verdünnt wird dass die ernie-

[1] Siehe z. B. *Dibbit*'s Ueb. d. Dissoc. d. ammoniakal. Salze in wässer Lösung. Pogg. Ann. B. CL, S. 260.

Tabelle IX

№	Name	Salz in 100 ccm	V	t	p	A	$A_1\frac{p_m}{p_1}$	y
65	NH_4NO_3.	40,43 g	45,62	15,2° C.	681,22 772,99 918,11	25,150 28,415 33,841	28,536 33,895	0,809 0,805 0,808
66		20,21 g	»	»	669,53 788,83 917,79	27,851 32,786 38,165	32,813 38,178	0,911 0,911 0,911
67		10,10 g	»	»	655,13 895,01	28,798 39,272	33,377	0,962 0,961
68		5,05 g	»	»	671,84 769,10 897,76	30,262 34,789 40,605	34,643 40,439	0,987 0,990 0,991
69		2,025 g	»	»	661,92 751,09 896,22	30,381 34,807 41,116	34,473 41,116	1,006 1,015 1,006
70		1,01 g	»	»	664,44 758,31 905,13	30,373 35,137 41,879	34,664 41,376	1,002 1,015 1,014
71		0,5 g	»	»	656,14 759,89 892,55	30,389 35,053 41,248	35,193 41,338	1,015 1,011 1,013

drigende Wirkung des Salzes auf das Absorptionsvermögen des Wassers nicht mehr merklich ist, der Effect des weiteren Verdünnens alsdann einer blossen Vergrösserung der Masse des Wassers in der Lösung entspricht. Dieses tritt in den meisten Salzen erst bei starken Verdünnungen ein; und hier ist das Verhältniss schon zwischen den Coefficienten der 2 ersten starken Lösungen zu sehen. Wir erhalten somit folgende 3 absorptiometrische Merkmale für die Lösungen von NH_4NO_3, dieses höchst leicht dissociirbaren Salzes:

1) sehr hohe Zahlenwerthe für die Coefficienten relativ starker Lösungen;

2) das Fehlen (natürlich nur ein scheinbares, wegen der Grobheit der Beobachtungsmethode!) der deprimirenden Wirkung des Salzes auf das Absorptionsvermögen des Wassers sogar in starken Lösungen; und infolge dessen

3) ein höchst geschwindes Anwachsen der Coefficienten mit der Verdünnung der Lösungen.

Versuche mit NaCl-Lösungen wurden bei 3 verschiedenen Temperaturen angestellt; in allen 3 Reihen war die Concentration der Lösungen die nämliche: dieselben enthielten in 100 ccm 3,201; $3{,}201\times2$; $3{,}201\times3$.... $3{,}201\times6$ gr. Salz.

Hier wie oben, und zwar in allen 3 Versuchsreihen, erfolgt die Absorption nach dem Dalton'schen Gesetz; und hier wie oben wachsen die Absorptionscoefficienten mit der Verdünnung continuirlich an. Versucht man

Tabelle X

№	Salzgeh. in 100 ccm	V	t	p	A	$A_1\frac{p_m}{p_1}$	v
73	19,206 g	45,62	15,2° C	739,78 889,81	15,765 19,004	18,951	0,466 0,467
74	16,005 g	»	»	729,56 899,38	17,096 21,297	21,075	0,513 0,518
75	12,800 g	»	»	720,63 886,32	19,017 23,503	23,39	0,578 0,581
76	9,603 g	»	»	708,35 877,83	21,362 26,493	26,47	0,661 0,661
77	6,402 g	»	»	691,14 849,24	23,983 29,492	29,47	0,769 0,761
78	3,201 g	»	»	678,93 850,60	26,771 33,742	33,54	0,864 0,869
79	19,206 g	45,62	18,38° C	738,10 900,81	14,405 17,618	17,58	0,427 0,428
80	16,005 g	»	»	720,73 877,67	15,907 19,525	19,37	0,481 0,485
81	12,804 g	»	»	721,08 864,88	17,458 21,160	20,94	0,530 0,536
82	9,603 g	»	»	717,11 867,66	20,032 24,283	24,237	0,610 0,611
83	6,403 g	»	»	691,66 843,11	22,218 27,218	27,084	0,701 0,704
84	3,201 g	»	»	689,97 833,55	25,003 30,331	30,201	0,793 0,797
85	19,206 g	45,62	21,7° C	735,35 866,61	13,231 15,590	15,592	0,394 0,394
86	16,005 g	»	»	742,25 886,05	14,747 17,764	17,604	0,435 0,439
87	12,804 g	»	»	726,61 872,10	16,467 19,892	19,764	0,496 0,498
88	9,603 g	»	»	713,66 867,10	18,349 22,184	22,29	0,561 0,559
89	6,402 g	»	»	686,51 833,65	19,591 24,217	23,79	0,625 0,636
90	3,201 g	»	»	678,77 809,80	25,514 26,833	26,86	0,726 0,726

nämlich nach den in den Versuchen erhaltenen Zahlen die Absorptionscurven für alle 3 Temperaturen zu construiren, indem man den steigenden Salzgehalt der Lösungen 1, 2, 3 ... 6 zu Abscissen und die zugehörigen Coeffi-

cienten als Ordinaten nimmt, so erweisen sich alle Curven, mit Anbringung sehr leichter Correcturen, continuirlich. In allen übrigen Beziehungen ist der Unterschied zwischen dem, was die Lösungen von NH_4NO_3 u. NaCl ergeben haben, ein frappanter und kann so formulirt werden: *was die concentrirten Lösungen von NH_4NO_3 ergeben haben, wurde an den Lösungen von NaCl erst bei einer bedeutenden Verdünnung derselben erhalten und umgekehrt.*

Die Concentration der anfänglichen Lösung von NaCl ist in der That mehr wie zweimal schwächer als die von NH_4NO_3, und doch lieferte dieselbe (man vergleiche die Zahlenwerthe von y in den Vers. 65 und 77) bei 3-facher Verdünnung (dem Volumen nach) mit Wasser einen niedrigeren Coefficienten als die anfängliche Lösung von NH_4NO_3. Für das Anwachsen der Coeffcienten von NH_4NO_3 galt ferner das Verhältniss

$$y_2 = \frac{y_1 + \alpha}{2},$$

wenn man mit y_2 den Coefficienten einer 2-fach verdünnten Lösung und mit α denjenigen des Wassers bezeichnet; und hier (namentlich in den Versuchen bei 15,2° C) ist dieses Verhältniss sogar für y_3 und y_6 (Vers. 77 und 78) noch nicht erreicht:

$$y_6 = \frac{0{,}762 + 1{,}01}{2} = 0{,}886 \text{ (beob. } 0{,}867).$$

In Vers. 83 und 84, bei 18,38° C, wo $\alpha = 0{,}896$ (siehe oben Tab. I), haben wir für den Uebergang von y_3 zu y_6

$$y = {}_6 \frac{0{,}702 + 1{,}01}{2} = 0{,}799 \text{ (beob. } 0{,}795);$$

und erst für $t = 21{,}7°$, bei $\alpha = 0{,}825$, ist dieses Verhältniss völlig erreicht

$$y_6 = \frac{0{,}630 + 1{,}01}{2} = 0{,}727 \text{ (beob. } 0{,}726).$$

Es entspricht also in der That dem starken Unterschied in dem Verhalten beider Salze zum Wasser ein starker absorptiometrischer Unterschied zwischen ihren Lösungen, und zwar im folgenden Sinne: dem leicht dissociirbaren Salze entspricht ein hohes mit der Verdünnung der Lösungen rasches Ansteigen des Absorptionsvermögens; und dem zum Wasser aviden Salze ein entgegengesetztes absorptiometrisches Verhalten.

Die uns bevorstehenden vergleichenden Absorptionsversuche (mit Chloriden, Sulfaten und Nitraten) bekommen hierdurch einen bestimmten Sinn, und auch der Weg, wie die damit erhaltenen Resultate zu vergleichen sind, ist durch die beschriebenen Versuche vorbezeichnet: *es müssen die Lösungen nach der Grösse ihres Absorptionsvermögens* (resp. ihrer Absorptionscoefficienten) *und nach den Aenderungen desselben mit der Verdünnung verglichen werden.*

So lange wir mit NH_4NO_3 und NaCl, diesen zwei Extremen in absorptiometrischer Beziehung zu thun hatten, konnte die Frage über die Dosirung der zu vergleichenden Lösung unbeachtet bleiben—die absorptiome-

trischen Unterschiede zwischen beiden sind so gross, dass an dem Sinne der Versuchsangaben kein Zweifel möglich war. Nicht so in den jetzt bevorstehenden Versuchen mit den Uebergangsgliedern zwischen beiden Extremen:—hier können die zu beobachtenden viel geringeren Unterschiede nur dann richtig gedeutet werden, wenn die Lösungen auf gleiche Weise und richtig dosirt sind.

Eine richtige und für alle Salze gültige Dosirungsweise der zu vergleichenden Lösungen hat sich glücklicherweise nach einigem Suchen gefunden.

13. Von der Idee ausgehend, dass gleiche Mengen nahe verwandter Salze auf gleiche Mengen Wasser wirkend, das Absorptionsvermögen des letzteren in gleichem oder fast gleichem Grade abschwächen werden, war es möglich zu glauben, dass Lösungen solcher Art gleiche oder fast gleiche Absorptionscoefficienten liefern werden. Dem entsprechend wurden zur ersten Probe folgende zwei Lösungen

8,452 gr. $MgSO_4,7H_2O + 500$ ccm Wasser
8,452 » $ZnSO_4,7H_2O + 500$ » »

genommen. Das Resultat fiel jedoch nicht ganz befriedigend aus, indem das Zinksalz einen entschieden höheren Coefficienten (0,732 gegen 0,710) lieferte. Als ich darauf bemerkt habe, dass die der genommenen Menge von $MgSO_4$, $7H_2O$ aequivalente Menge von $ZnSO_4$, $7H_2O$ etwas mehr als 8,452, nämlich 9,844 g beträgt und den Versuch mit der Lösung von 9,844 g $ZnSO_4$, $7H_2O+500$ ccm Wasser anstellte, erwies sich der Coefficient demjenigen der $MgSO_4$-Lösung fast gleich. Aus diesem Grunde wurden für die weiteren Versuche nicht gleiche sondern aequivalente Salzmengen genommen.

Die Versuche sind in der nächstfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Die Uebereinstimmung der Zahlenwerthe von y ist so gross, dass an der Gleichheit der Absorptionscoefficienten bei der Dosirung der Lösungen: aequivalente Salzmenge+gleich grosse Wassermengen kein Zweifel möglich ist.

Auch nahm ich zu weiteren Proben mit den Salzen der alkalischen Erden nicht gleiche sondern aequivalente Menge derselben. So wie ich aber die zu den Versuchen genommenen aequivalenten Mengen von BaN_2O_6, SrN_2O_6 und CaN_2O_6 mit gleich grossen Mengen Wasser versetzte, bekam ich Lösungen mit sehr weit voneinander abstehenden Coefficienten. Besonders hoch erwies sich der Coefficient des Baryumsalzes in Vergleich mit dem des Calciumsalzes, welcher der niedrigste von allen war. Auf gleich grosse Coefficienten aller drei Lösungen konnte man hiermit nur dann rechnen, wenn ihre Concentrationen gewissermassen in einem umgekehrten Verhältnisse zu den Atomgewichten der Salze stünden. Dieses veranlasste mich folgende Dosirung zu erproben: «Lösungen gleichen Gewichtes mit aequivalenten Salzmengen»; betragen, mit anderen Worten, die Atomgewichte der Salze etwa a, $a+b$ und $a+b+c$, so betragen die zugesetzten Wassermengen der Reihe nach d, $d-\delta$ und $d-(b+c)$. Diese Dosirungsart ergab, wie wir sehen werden, ebenso befriedigende Resultate wie die vorige. Bevor ich aber die erhaltenen Zahlen mittheile, muss hier ein sehr wichtiger Einsatz gemacht werden.

Tabelle XI

№	Name	Concentr.	V	t	p	A	$A_1\frac{p_m}{p_1}$	y
91	$MgSO_4 7H_2O$	8,432 g + 500 ccm H_2O	37,05	26°C	779,70 889,60	20,54 23,45	23,43	0,715 0,710
92	$ZnSO_4 7H_2O$	9,844 g + 500 ccm H_2O	37,25	»	774,90 885,40	20,45 23,43	23,39	0,715 0,715
93	$MgSO_4 7H_2O$	33,73 g + 300 ccm H_2O	36,95	25°C	794,75 894,85	17,317 19,347	19,48	0,579 0,584
94	$ZnSO_4 7H_2O$	39,34 g + 300 ccm H_2O	36,75	»	796,44 895,97	17,458 19,405	19,62	0,596 0,590
95	$MgSO_4 7H_2O$	24,6 g + 100 ccm H_2O	37,75	18,38°C	850,76 941,98	16,706 18,716	18,49	0,520 0,523
96	$ZnSO_4 7H_2O$	28,7 g + 100 ccm H_2O	37,90	»	846,86 941,07	16,612 18,451	18,46	0,523 0,523
97	$MgSO_4 7H_2O$	33,73 g + 100 ccm H.O	45,60	19,3°C	653,74 955,27	12,730 18,420	18,46	0,426 0,423
98	$ZnSO_4 7H_2O$	39,34 g + 100 ccm H_2O	36,45	»	864,16 964,84	13,321 14,964	14,87	0,422 0,425

Als ich beim Schreiben dieser neuen Auflage meiner alten Arbeit die auf die soeben erwähnten Versuche bezüglichen alten Versuchsprotokolle revidirte, fielen mir daselbst Zahlen in die Augen, welche damals unbeachtet blieben: es waren nämlich neben den Gewichten der zu den Versuchen bereiteten Lösungen auch die Volumina der letzteren angeführt, und diese Zahlen wurden übersehen. Jetzt führe ich dieselben an.

Es wurden zu den Versuchen mit drei Nitraten folgende Gemische genommen

für BaN_2O_6: 16,258 g Salz+232,7 g Wass.; Gewicht 248,958 g; Vol. 237,5 ccm.

für CaN_2O_6, $4H_2O$: 43,482 g Salz+692,0 g Wass.; Gewicht 735,48 g; Vol. 720,0 ccm.

für SrN_2O_6: 23,608 g Salz+438,7 g Wasser; Gewicht 462,30 g; Vol 440,2 ccm.

Auf Grund dieser Zahlen lässt sich folgender Salzgehalt in 100 g und 100 ccm Lösung berechnen:

in 100 g Lösung { 6,53 BaN_2O_6 / 5,9 CaN_2O_6, $4H_2O$ oder 4,108 CaN_2O_5; / 5,1 $Sr_2N_2O_6$

in 100 ccm Lösung { 6,68 BaN_2O_6 / 4,2 CaN_2O_6 / 5,365 SrN_2O_6

Die Mengen gleicher Salze sind in beiden Fällen so gut wie gleich und alle drei sind in beiden Fällen einander aequivalent.

Es bleibt sich also gleich, ob man die Lösungen dieser Salze nach der oben angegebenen Weise dosirt, oder die einander aequivalenten Salzmengen im Wasser zu gleich grossen Volumina auflöst.

Das gleiche ergaben die auf die oben angegeben Weise dosirten Lösungen von $BaCl_2$ und $SrCl_2$. Dieselben enthielten:

in 100 g Lösung { 5,2 $BaCl_2$ / 3,96 $SrCl_2$

in 100 ccm Lösung { 5,39 $BaCl_2$ / 4,10 $SrCl_2$

5,39 $BaCl_2$ und 4,097 $SrCl_2$ sind einander aequivalent.

Zu diesen Salzen habe ich noch zwei Paare weniger verwandter Salze, $CuSO_4$, $5H_2O$ und $ZnSO_4$, $7H_2O$, $NaNO_3$ und $AgNO_3$ hinzugefügt. An dem ersten Paare wiederholte sich das frühere Verhältnis der Dosirungen:

100 g Lösung enthielten { 8,31 $CuSO_4$, $5H_2O$ / 9,50 $ZnSO_4$, $7H_2O$

100 ccm Lösung enthielten { 5,57 $CuSO_4$ / 5,64 $ZnSO_4$

An dem zweiten Paare, welches

in 500 g Lösung { 85,0 $NaNO_3$ / 170;0 $AgNO_3$

enthielt, hat sich dieses Verhältnis hingegen nicht bewährt.

Nachdem mich somit der Vergleich nahe verwandter Salze von *Ba*, *Ca* und *Sr* zu dem Schlusse geführt hat, dass ihre Lösungen gleiches Absorptionsvermögen besitzen, wenn sie in gleich grossen Volumina aequivalente Salzmengen enthalten, war es natürlich zu denken, dass dasselbe auch in Bezug auf das zuerst untersuchte Paar, $MgSO_4$ u. $ZnSO_4$, der Fall ist. Diese Voraussetzung hat sich auch vollkommen bestätigt: ich nahm zum Vergleich absichtlich die zwei am meisten concentrirten Lösungen beider Salze (in den Vers. 97 und 98), und erhielt:

für 33,73 g $MgSO_4$, $7H_2O$ + 100 ccm H_2O das Volumen = 119
» 39,34 » $ZnSO_4$ $7H_2O$ + 100 » H_2O » » = 119

Hiermit haben wir zum Vergleich der bis jetzt untersuchten Salze anstatt zweier verschiedener einen einzigen Masstab bekommen. Die Bedeutung dieser Thatsache, so wie die Abweichung von $NaNO_3$ und $AgNO_3$ in dieser Beziehung von den übrigen Salzen werde ich weiter unten besprechen. Erst

müssen die Ergebnisse der Absorptionsversuche angeführt werden. Dieselben sind in der nächtsfolgenden Tab. XII zusammengestellt.

Tabelle XII

№	Name	Salzgeh. in. 100 ccm	V	t	p	A	$A_1\frac{p_m}{p_1}$	y
99	BaN_2O_6	6,68 g	45,70	15,2°C	495,75 647,45	20,901 27,271	27,29	0,922 0,921
100	CaN_2O_6	4,2 g	37,45	»	753,29 851,01	26,107 29,435	29,50	0,925 0,921
101	SrN_2O_6	5,365 g	37,85	»	749,29 847,61	25,985 29,360	29,36	0,916 0,916
102	$BaCl_2$	5,39 g	45,65	15,2°C	548,32 681,85	22,311 27,940	27,06	0,891 0,897
103	$SrCl_2$	4,10 g	37,35	»	748,69 847,41	24,952 28,343	28,16	0,891 0,895
104	$ZnSO_4$	5,57 g	37,45	15,2°C	781,10 887,13	23,460 26,580	26,64	0,802 0,800
105	$CuSO_4$	5,64 g	»	»	778,80 869,17	23,787 26,729	26,54	0,808 0,813
106	$NaNO_3$	In 500 g Lös 85,0 g	45,65	18,38°C	699,69 858,31	19,010 23,394	23,32	0,594 0,597
107	$AgNO_3$	170 g	»	»	702,77 853,29	18,674 22,576	22,67	0,582 0,579

Somit hat sich, dank diesen Versuchen, ein richtiger Maasstab für den Vergleich der Salzlösungen gefunden; weil in demselben, so zu sagen, die beiden Seiten der reciproken Wirkung zwischen Salz und Wasser dargestellt sind: *sofern die zu vergleichenden Lösungen aequivalente Salzmengen enthalten, deutet diese Thatsache unzweideutig darauf hin, dass die Salzlösungen den Verbindungen von Salz mit seinem Krystallwasser zur Seite als niedrigere Stufen einer und derselben Reihe von Gliedern gestellt werden können* (die Reihe beginnt ja in seinem Krystallwasser zerflossenes Salz— eine echte Salzlösung, welche ohne jeglichen Sprung in die Reihe «unbestimmter Verbindungen» übergeht); *sofern der Maasstab gleiche Volumina der zu vergleichenden Lösungen voraussetzt, ist darin die Thatsache ausgedrückt, dass die Lösungen unter gleichen mechanischen Bedingungen der Dissociation verglichen werden müssen* [die Gleichheit der Volumina bedeutet ja gleiches Auseinanderrücken der Salztheilchen durch das Auflösungsmittel].

Endlich ist der Maasstab auf alle Salze in gleichem rationellen Sinne anwendbar, sofern derselbe die aequivalenten Salzmengen enthält.

Nebst diesem ist ferner in den Tabellen XI und XII die Anweisung enthalten, wie man bei dem rationellen Vergleich zu verfahren hat. Erst müssen dafür schwache Lösungen genommen werden (etwa solcher Concentration, wie die der Lösungen in den Vers. 99—105); denn an diesen ist die Gleichheit der Absorptionscoefficienten eher als an den starken zu erwarten. Erweisen sich hierbei die Coefficienten gleich gross, so genügt nur noch eine zweite Bestimmung an etwas stärkerer Lösung, um mit Sicherheit behaupten zu können, dass den Salzen gleiche Dissociirbarkeit zukommt; wie es die Versuche mit den Lösungen von $MgSO_4$ und $ZnSO_4$ gezeigt haben. Andererseits stellt die Zusammenstellung der Lösungen von $NaNO_3$ und $AgNO_3$ ein Beispiel dar, wie die Versuchsergebnisse auszulegen sind, wenn die in beiden Fällen erhaltenen Coeffcienten, trotz der unrichtigen Dosirung der Lösungen, einander gleich oder fast gleich sind.

Es wurden zu diesen Versuchen folgende Gemische genommen:

25,9515 g $NaNO_3$ + 126,6 g H_2O; Gew. 152,515 g;
Volum. 136,5 ccm.

44,9385 g $AgNO_3$ + 87,2 g H_2O; Gew. 132,138 g;
Volum. 95,5 ccm.

Dementsprechend:

in 500 g Lös. { 85,0 $NaNO_3$ / 170,0 $AgNO_3$

in 100 ccm Lös. { 19,0 $NaNO_3$ / 47,0 $AgNO_3$

Die zu 19,0 $NaNO_3$ aequivalente Menge von $AgNO_3$ sollte nicht 47, sondern 38,0 betragen, und trotzdem ergaben die Lösungen beider Salze nicht weit voneinander abstehende Coefficienten; folglich ist $AgNO_3$ viel leichter dissociirbar, als $NaNO_3$.

14. Jetzt werde ich zur weiteren Prüfung des gefundenen Maasstabes vergleichende Versuche an Lösungen solcher Salze anführen, deren verschiedenes Verhalten zu Wasser bekannt ist. Sollte sich hierbei für jedes Salz eine Uebereinstimmung zwischen ihrem Verhalten zu Wasser und den durch ihre Lösungen gelieferten absorptiometrischen Daten ergeben, so würde man darin einen entschiedenen Beweis für die Richtigkeit des Vergleichungsmaasstabes haben. Es wurden in diesem Sinne einerseits Salze verschiedener Säuren mit gleichen Basen, andererseits Salze gleicher Säuren mit verschiedenen Basen untereinander verglichen. Für das erstere wurden Nitrate, Chloride und Sulfate, für das zweite die Salze von Na, K und Am gewählt. Die Resultate sind in der nächstfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Vergleicht man die Salzdosen in jeder paarigen Zusammenstellung mit den ihnen entsprechenden einander aequivalenten Salzdosen in der letzten Spalte, so sieht man, dass in allen Paaren die zweite Lösung stärker als nöthig concentrirt ist. Hätten wir in diesen Versuchen mit Lösungen nahe verwandter Salze zu thun gehabt, so würden in jedem Paare der concentrirteren Lösung kleinere Coefficienten entsprechen; und hier haben wir, mit einer einzigen Ausnahme (Vers. 112) gerade das Gegentheil. In

Tabelle XIII

№	Name	Salzgeh. in 100 ccm	t	y	Aequiv
108	NaCl KCl	7,89 g 14,10 g	15,2° C	0,728 0,745	7,89 10,04
109	NaCl NH_4Cl	6,312 g 25,80	»	0,778 0,770	6,312 5,759
110	KNO_3 NH_4NO_3	23,51 40,52	»	0,781 0,812	23,51 18,62
111	NaCl $NaNO_3$	6,312 11,55	15,2° C	0,778 0,778	6,312 9,171
112	NaCl $\frac{Na_2SO_4}{2}$	12,28 16,00	21,7° C	0,489 0,3915	12,28 14,904
113	KCl KNO_3	14,1 23,51	15,2° C	0,745 0,781	41,1 20,96

diesem Versuche könnte das Resultat $0{,}3915 < 0{,}489$ allerdings dem Umstande zugeschrieben werden, dass die Concentration der Na_2SO_4-Lösung etwas stärker als nöthig ist [16,0 gegen 14,904]; es lässt sich jedoch sehr leicht zeigen[1], dass das obige Verhältnis der Coefficienten auch für die Lösungen gilt, welche aequivalente Salzmenge enthalten:—beträgt nämlich y für Na_2SO_4 in runder Zahl $0{,}41 < 0{,}489$, wenn die Lösung 14,904 g Salz enthält.

Somit werden durch diese Versuche folgende Sätze bewiesen:

Nitrate absorbiren die Kohlensäure am stärkten:
Sulfate » » » » geringsten;
Chloride stehen zwischen beiden;
Ammoniumsalze absorbiren CO_2 am stärksten;
Natriumsalze » CO_2 am geringsten;
Kaliumsalze stehen zwischen beiden.

Bedenkt man hierbei, dass der thermochemischen Untersuchung von *Thomsen* zufolge[2] die Nitrate bei ihrer Auflösung mehr Wärme als die Chloride und diese mehr als die Sulfate,—die Ammoniumsalze mehr als die Kaliumsalze und diese mehr als die Natriumsalze absorbiren; so fällt

[1] In dem nächsten Theile dieser Arbeit wird der Leser die Angabe finden, wie man bei der gegebenen Grösse des Coefficienten und der entsprechenden Verdünnung der Salzlösung, die Coefficienten für beliebige andere Verdünnungen berechnen kann.

[2] Berl. Chem. Ber. Sechst. Jahrg. p. 714.

die absorptiometrische Reihenfolge von Salzen mit der *Thomsen*'schen zusammen; und da die Erscheinung der Wärmeabsorption bei der Auflösung der Salze als Zeichen des Dissociationsvorganges angesehen wird, so *entspricht die absorptiometrische Reihenfolge der Salze den verschiedenen Graden ihrer Dissociirbarkeit.*

Die Richtigkeit des Vergleichungsmasstabes hat sich also bewährt.

15. Jetzt, wo die im Beginne dieses Kapitels aufgeworfene Frage über den Vergleich der zu CO_2 indifferenten Salzlösungen zu Ende geführt ist, haben wir schliesslich noch die Frage zu besprechen, wie der Process der CO_2-Absorption durch diese Lösungen aufzufassen ist. Die endgültige Entscheidung derselben wird erst am Schlusse diser Abhandlung möglich; doch finden sich schon unter den bis jetzt beschriebenen Versuchsergebnissen einige gewichtige Thatsachen, welche diese Entscheidung vorbereiten.

Die erste hierauf bezügliche Thatsache bezieht sich auf die bewiesene Möglichkeit die Salzlösungen nach der Dissociirbarkeit ihrer Salze zu classificiren. Man könnte hiernach glauben, die Salzlösung böte eine eigentümlich geartete jedoch einförmige Flüssigkeit dar, worin das in dem Zusammenhange zwischen seinen Bestandtheilen umgeänderte Salz die Hauptrolle in dem Absorptionsvermögen der Flüssigkeit zu CO_2 spielt, während das Auflösungsmittel nur den Grad der Dissociation bedingt. Es ist jedoch leicht zu zeigen, dass diese Vorstellung nicht alles deckt, was die Absorptionserscheinungen darbieten.—Oben, bei der Besprechung der in der Tab. X gesammelten Versuche, haben wir gesehen, dass Lösungen gleich grosser Mengen von NaCl im Wasser verschiedener Temperaturen ungleich grosse Absorptionscoefficienten liefern, welche bei continuirlich fortschreitender Verdünnung ebenfalls continuirlich anwachsen und schliesslich in den Coefficienten des Wassers der entsprechenden Temperatur übergehen. Diese Thatsachen beweisen unzweideutig, dass das Absorptionsvermögen des Auflösungsmittels einen directen Antheil an dem Absorptionsvermögen der Salzlösung hat. Die absorptiometrische Eigenthümlichkeit einer gegebenen Salzlösung hängt also nicht nur von dem Dissociationszustande des Salzes sondern auch von dem Verhalten des Auflösungsmittels zu CO_2 ab.

Die dritte Reihe von Thatsachen betrifft die bindende Wirkung des Salzes auf das Wasser. Oben (S. 172) ist ein gewichtiger Grund angegeben, warum die Salzlösungen den Verbindungen der Salze mit ihrem Krystallwasser zur Seite als niedrigere Stufen einer und derselben Reihe von Gliedern gestellt werden müssen. Die Salzlösungen stellen hiernach «Verbindungen von Salz mit Wasser» dar, und als solche können sie sich nur durch die verschiedene Verbindungsstärke zwischen den beiden Bestandtheilen voneinander unterscheiden. Diesen Vorstellungen gemäss könnte die Salzlösung so aufgefasst werden, als böte in derselben das eigentliche Absorptionsmedium für CO_2 nur das Wasser dar, während dem Salze nur die bindende Wirkung auf das Wasser, resp. nur die erniedrigende Wirkung auf das Absorptionsvermögen des letzteren für das Gas zukomme. Bedenkt man hierbei, dass in einer stetig diluirten Salzlösung der Dissociationsgrad des Salzes und die bindende Wirkung des letzteren auf Wasser stets Hand in Hand gehen—je stärker die Dissociation, je geringer die bindende Wirkung und umgekehrt,—so ist leicht einzusehen, dass überhaupt einer star-

ken Dissociirbarkeit des Salzes eine schwache bindende Wirkung desselben auf das Wasser entspricht, und umgekehrt. Es kommt also auf eins heraus, ob man den Erscheinungen der CO_2—Absorption die Dissociirbarkeit des Salzes oder die bindende Wirkung des letzteren auf das Wasser zu Grunde legt.—Es sind ja die entgegengesetzten Aeusserung der reciproken Wirkung zwischen Salz und Wasser in der Lösung.

Von diesen beiden Auffassungen des das Gas absorbirenden Medium ist die zweite offenbar die bequemere, weil sie die Rolle der beiden Bestandtheilen der Lösung schärfer präcisirt. Es fehlt jedoch noch ein sehr wichtiger Punkt zu ihrer Annahme:—wird das Gas in der Lösung wirklich nur durch das Wasser absorbirt, während das dissociirte Salz die Absorption nur hemmt, indem es das Wasser bindet,—so muss die Anziehung zwischen Salz und Wasser einerseits, zwischen Wasser und CO_2 andererseits, gleicher Ordnung sein; sonst würde ja der aus den Massenwirkungen zwischen Salz, Wasser und CO_2 resultirende regelmässige Gang der Gasabsorption unmöglich. Einen strengen experimentellen Beweis dafür wird der Leser in dem letzten Capitel dieser Abhandlung finden; jetzt will ich einige experimentelle Andeutungen hierauf aufführen.

In einer von Wasserdampf freien Atmosphäre verlieren die wässerigen Salzlösungen Wasser.

Ist die Atmosphäre in einem ganz bestimmten Grade mit Dampf gesättigt, so erfolgt nur aus einer ganz bestimmt concentrirten Salzlösung keine Abgabe von Wasser;

ist hingegen, bei der früheren Wasserdampfspannung in der Atmosphäre, die Salzlözung etwas schwächer oder stärker gegen das frühere concentrirt, so erfolgt im ersten Falle eine Abgabe des Wassers in die Atmosphäre und in dem zweiten umgekehrt eine Absorption des überflüssigen Dampfes durch die Flüssigkeit.

Dasselbe, nur in einem anderen Maasstabe, gilt für die Verluste von Krystallwasser durch einige Salze, obgleich hier die Verbindung zwischen Salz und Wasser eine chemische ist.

In einer CO_2-freien Atmosphäre verlieren die Lösungen von CO_2 ihr Gas.

Enthält die Atmosphäre so viel CO_2, dass ihre Spannung derjenigen gleich ist, unter welcher das Gas in dem Wasser aufgelöst war, so verliert die Lösung kein Gas;

ist hingegen, bei der früheren Gasspannung in der Atmosphäre, das Wasser mit CO_2 unter einem gegen das frühere höheren oder niedrigeren Druck gesättigt, so erfolgt im ersten Falle eine Abgabe des Gases in die Athmosphäre und in dem zweiten eine Absorption des Ueberschusses desselben durch die Flüssigkeit.

Dasselbe gilt, nur in einem anderen Maasstabe, für die Ausscheidung der schwach-chemisch gebundenen Kohlensäure aus den Flüssigkeiten.

Es geht aus diesen Thatsachen klar bervor, dass sofern der Gleichgewichtszustand beider labilen Verbindungen: Wasser+Salz und Wasser+CO_2, durch Wasserdampf- und Gasspannung in der Umgebung, d. h. durch Factoren gleicher Ordnung, unterhalten wird, die Verbindungen selbst gleicher Ordnung sein müssen.

ANHANG

Gemische von Schwefelsäure mit Wasser.

16. Den Anlass zu absorptiometrischen Versuchen an diesen Gemischen gab folgende Ueberlegung. In den Versuchen mit den Salzlösungen haben wir nur Fälle zu beobachten gehabt, in welchen die Wasserzusätze nur Dissociationsvorgänge hervorriefen; dagegen bieten diejenigen Mischungen von SH_2O_4 mit H_2O, welche dem Uebergehen von SH_2O_4 in das zweite Hydrat entsprechen, einen Fall dar, im welchem den Wasserzusätzen nicht die Dissociation, sondern eine Hydratation des Stoffes entspricht. Es wird uns allerdings nicht möglich sein die Erscheinungen in voller Klarheit zu beobachten, da wir gezwungen sind die Mischungen von SH_2O_4 mit Wasser bei der Zimmertemperatur vorzunehmen, wobei die sich bildende Verbindung $SH_2O_4+H_2O$ in einem dissociirten Zustande erhalten wird, weil sie sich alsdann in eigenem Krystallwasser aufgelöst hat. Andererseits ist es jedoch aus den die Mischungen begleitenden Erscheinungen bekannt, dass solange die Bildung des zweiten Hydrats noch im Gange ist, die Effecte der Wasserzusätze doch hauptsächlich der Hydratation entsprechen, und die dissociirenden Wirkungen derselben erst hierauf merklich werden.

Die absorptiometrischen Versuche mussten offenbar diesem Verlauf der Erscheinungen angepasst sein; d. h. den Bestimmungen an SH_2O_4 ohne Wasser Versuche an Gemischen folgen, welche weniger Wasser als $SH_2O_4+-H_2O$ enthalten; hierauf Versuche mit dem 2-ten Hydrat, dann mit dem 3-ten u. s. w.

Für diese Versuche waren an dem Absorptiometer nur in zwei Punkten kleine Aenderungen vorzunehmen: das Saugrohr zum Einführen der Flüssigkeit in den Recipienten bestand jetzt seiner ganzen Länge nach aus Glas, und der stählerne Cylinder im oberen Halse der Recipienten war gegen die Schwefelsäure durch Paraffin geschützt. Es ist ferner selbstverständlich, dass der Apparat für alle Versuche sowohl mit reiner SH_2O_4 als mit deren Gemischen mit Wasser, bis zum 3-ten Hydrat einschliesslich, mit trockener CO_2 gefüllt wurde. Endlich ist es leicht einzusehen, dass wegen der Unvermeidlichkeit einige vorbereitende Operationen mit der Flüssigkeit in der Luft vorzunehmen, die Schwefelsäure etwas Feuchtigkeit anziehen musste; folglich sind die in der Tabelle bezüglich des Wassergehaltes der Flüssigkeiten angeführten Zahlen nur als annähernd richtig zu betrachten.

Fasst man die durch diese Versuche dargebrachten Erscheinungen der CO_2- Absorption von demselben Gesichtspunkte auf, zu welchem uns Versuche an den Salzlösungen geführt haben, so müssen jetzt die Absorptionserfolge als Resultate eines zweiseitigen Kampfes—zwischen SH_2O_4 und CO_2 um das Wasser einerseits und zwischen CO_2 und H_2O um die Schwefelsäure andererseits—betrachtet werden. Dabei muss natürlich das beiden Bestandtheilen des Gemisches (SH_2O_4 und HO_2) in ihrem freien Zustande zukommende Absorptionsvermögen zu CO_2 stark erniedrigt werden, weil die Verbindung von SH_2O_4 mit Wasser eine sehr starke ist; und dieses sehen wir in der That in allen auf die Vers. 114 u. 115 folgenden Versuchen.

So lange die Wasserzusätze noch klein sind, nimmt von den beiden Wech-

Tabelle XIV

№	Name	v	t	p	A	$A_1\frac{p_m}{p_1}$	y
114	SH_2O_4	35,825	17°C	656,39 774,56	21,925 25,860	25,872	0,932 0,932
115	»	»	»	644,20 797,77	21,438 26,767	26,549	0,928 0,936
116	92 g SH_2O_4 + 3 g H_2O	»	17°C	658,51 708,26 917,47	20,097 21,642 28,061	21,615 28,035	0,851 0,852 0,852
117	92 g SH_2O_4 + 8 g H_2O	35,825	»	680,67 862,15	17,556 22,182	22,236	0,719 0,718
118	SH_2O_4 + H_2O	»	»	699,33 752,67 971,05	16,656 17,975 23,128	17,927 23,128	0,665 0,666 0,667
119	SH_2O_4 + 2(H_2O)	»	»	686,46 750,77 953,59	17,363 18,915 24,106	18,989 24,120	0,706 0,703 0,705
120	SH_2O_4 + 3(H_2O)	»	»	679,40 869,16	17,977 24,076	22,99	0,738 0,741
121	$\frac{SH_2O_4}{5}$ + 12(H_2O)	»	»	670,76 815,35	20,600 25,073	25,03	0,857 0,857

selwirkungen derjenige zwischen CO_2 und H_2O um die Schwefelsäure offenbar die Oberhand; deshalb scheint das Resultat nur von der erniedrigenden Wirkung des Wassers auf das Absorptionsvermögen der Schwefelsäure zu CO_2 abzuhängen; und so lange das letztere mit steigenden Wasserzusätzen mehr und mehr erniedrigt wird, muss die resultirende Absorption von CO_2 abnehmen. Die Erniedrigung erreicht ihren höchsten Punkt bei der Bildung des 2-ten Hydrats, weil hier noch der letzte Tropfen des zugesetzten Wassers in eine starke Verbindung mit SH_2O_4 eingeht. Die weiteren Wasserzusätze wirken auf die Verbindung $SH_2O_4+H_2O$ hingegen dissociirend; deshalb beginnen von nun an die Absorptionsgrössen zu steigen.

Diese Versuche beweisen also direct, dass die Absoprtionsgrössen der Kohlensäure durch eine Lösung in einem directen Verhältnisse zu der Verbindungsstärke zwischen dem auflösenden und dem darin aufgelösten Stoffe stehen.

III. UEBER DAS ANWACHSEN DER ABSORPTIONSCOEFFICIENTEN VON CO_2 MIT DER VERDÜNNUNG DER ZU DIESEM GASE INDIFFERENTEN SALZLÖSUNGEN

17. Als ich die auf das Anwachsen der Absorptionscoefficienten bezüglichen Versuche unternahm, habe ich keine Ahnung von dem Gesetze dieses

Anwachsens gehabt, und entschloss mich aus diesem Grunde beim bevorstehenden Studium systematisch zu gehen, d. h. alle jene Bedingungen in den Versuchen zu variiren, von welchen die Absorptionserscheinungen beeinflusst werden. Unter diesen spielt, wie wir wissen, die reciproke Wirkung zwischen Salz und Wasser die Hauptrolle; auch sind wir mit der ersten Hälfte der hierauf bezüglichen Versuche — mit der Variation der Salze bei gleichem Absorptionsmittel—schon fertig; und nun kommt die zweite Hälfte derselben an die Reihe—Versuche mit verschiedenen Auflösungsmitteln bei einem und demselben Salze. Der nächste Sinn solcher Versuche besteht in Folgendem: bezeichnet man mit a und b die Absorptionscoefficienten zweier Lösungen eines und desselben Salzes in zwei verschiedenen Auflösungsmitteln, mit α und β die Coefficienten der letzteren; so muss diejenige Dosirung beider Lösungen gefunden werden, bei welcher $\frac{a}{\alpha} = \frac{b}{\beta}$. Dann wird entweder eine gleich grosse Einwirkung des Salzes auf das Absorptionsvermögen der beiden Auflösungsmittel—dieses, wenn die Dosirung in beiden Fällen gleich ist,—oder ein bestimmter Unterschied in der bindenden Wirkung des Salzes auf beide Flüssigkeiten erhalten werden. In dem ersten von diesen Fällen könnten die vergleichenden Versuche bei verschiedener Verdünnung der Lösungen das Verhältniss angeben, in welchem dabei die bindende Wirkung des Salzes zu- oder abnimmt.

Diesem Plane gemäss hatte ich nun die das Wasser in den Lösungen zu ersetzenden Flüssigkeiten zu wählen und eine richtige Dosirung der zu vergleichenden Lösungen zu treffen.

Bezüglich des ersten Punktes dachte ich anfangs an Alkohol und Glycerin; die Versuche mit Alkohol und alkoholischen Lösungen würden jedoch sehr viele Aenderungen an dem Absorptiometer verlangen und das Glycerin erwies sich wegen sener Dickflüssigkeit sehr unbequem; andererseits boten, wie wir sogleich sehen werden, die wässerigen Salzlösungen, als Ersatzmittel für das Wasser, sehr viele Vortheile, namentlich in Bezug auf die Dosirung der Lösungen, und wurden deswegen als solche gewählt.

Dank diesem Umstande konnten der Dosirung der Lösungen folgende Erwägunden zu Grunde gelegt werden: da die vorhergehenden Versuche gezeigt haben, dass man die Absorption der Kohlensäure durch Salzlösungen so auffassen kann, als böte nur das Wasser der Lösung das absorbirende Medium für CO_2 dar; so müssten die jetzt zu vergleichenden Lösungen gleiche Wassermengen enthalten. Dann würde man eigentlich zwei Fälle zu vergleichen haben, von denen in dem einen das Absorptionsvermögen der gegebenen Wassermenge durch ein einziges Salz und in dem zweiten durch zwei Salze herabgesetzt wird. Sollten nun bei dieser Zusammenwirkung die Salze das Absorptionsvermögen des Wassers jedes für sich in demselben Grade herabsetzen, wie sie es gesondert voneinander thaten, was sehr wahrscheinlich ist, so liesse sich hieraus die Grösse des der Einwirkung beider Salze entsprechenden Absorptionscoefficienten vorhersagen. Hat man z. B. unter der genannten Bedingung folgende Lösungen:

NaCl im Wasser und NaCl in wässeriger Lösung von $NaNO_3$

zu vergleichen, und ist hierbei der Absorptionscoefficient von CO_2 im Wasser gleich α, so kann der Absorptionscoefficient der NaCl-Lösung mit αm

und aus demselben Grunde derjenige der $NaNO_3$-Lösung mit αn bezeichnet werden. Dann würde nach dem oben gesagten der gleichzeitigen Wirkung beider Salze entsprechende Coefficient αmn betragen, woraus folgendes Verhältniss zwischen allen diesen Grössen

$$\alpha m : \alpha mn = \alpha : \alpha n$$

sich ergeben hätte. In Worten ausgedrückt würde dasselbe so lauten: *die Absorptionscoefficienten der Lösungen sind proportional denjenigen ihrer Lösungsmittel.*

Jetzt führe ich die Versuche an, in welchen die Lösungen auf die oben angegebene Weise dosirt waren. Dieselben (die Versuche) wurden bei 15,2° C angestellt, wobei der Absorptionscoefficient von CO_2 im Wasser gleich 1* ist und der des anderen Lösungsmittels ($NaNO_3$ im Wasser) 0,761 betrug.

Alle Lösungen von NaCl enthielten gleiche Mengen Wasser und ebensoviel war davon in 50 ccm $NaNO_3$-Lösung enthalten. Dementsprechend waren die Lösungen so zusammengesetzt:

NaCl	Wasser	Vol. d. Lös.	NaCl	$NaNO_3$-Lös.	Vol. d. Lös.
6,28 g	+ 47,80 ccm	= 50 ccm	6,28 g	+ 50 ccm	= 51,5 ccm
3,14 ,,	+ 47,80 ,,	= 48,45 ccm	3,14 ,,	+ 50 ,,	= 50,7 ,,
1,57 ,,	+ 47,80 ,,	= 47,9 ,,	1,57 ,,	+ 50 ,,	= 50,2 ,,

Alle die Lösungen ergaben folgende Absorptionscoefficienten

NaCl + Wass.	NaCl + $NaNO_3$ + Wass.
0,606	0,466
0,776	0,582
0,885	0,654.

Wären die resultirenden Volumina der miteinander zu vergleichenden Lösungen gleich gewesen, so könnten die erhaltenen Coefficienten direct zusammengestellt werden; so aber mussten zum Vergleich die auf die Volumina des Lösungen bezogenen Absorptionsgrössen genommen werden:

$$50 \times 0{,}606 = 30{,}3 \text{ mit } 51{,}5 \times 0{,}466 = 24{,}0$$
$$48{,}45 \times 0{,}776 = 37{,}89 \text{ ,, } 50{,}7 \times 0{,}582 = 29{,}5$$
$$47{,}9 \times 0{,}885 = 42{,}39 \text{ ,. } 50{,}2 \times 0{,}654 = 32{,}883.$$

Sollte nun die oben ausgesprochene Vermuthung sich bewähren, so müssten die Quotienten der links stehenden Zahlen auf die rechtsstehenden dem Quotienten $\frac{1}{0{,}761} = 1{,}314$ gleich sein; wir bekommen hingegen

$$\frac{30{,}3}{24{,}0} = 1{,}26; \quad \frac{37{,}89}{29{,}50} = 1{,}27; \quad \frac{42{,}39}{32{,}83} = 1{,}28.$$

* Ich setze denselben in weiteren Versuchen gleich 1, anstatt 1,01 weil dadurch alle Berechnungen sehr vereinfacht werden und die zu berechnenden Grössen [d. h. die Absorptionscoefficienten] kleine Aenderung nur in der 3-ten Decimale, d. h. in den Grenzen der gewöhnlichen Beobachtungsfehlern, erleiden.

Die Uebereinstimmung der Zahlen fehlt auch dann, wenn man die Producte $0{,}606 \times 0{,}761$; $0{,}776 \times 0{,}761$ u. s. w. mit den für die rechtsstehenden Lösungen erhaltenen Coefficienten zusammenstellt

beob. Coeff.	0,466	0,582	0,654
berechn. ,,	0,461	0,590	0,673.

Stellt man endlich die erhaltenen Coefficienten ohne Rücksicht auf die Unterschiede der Volumina zusammen, so erhält man

$$\frac{0{,}606}{0{,}466} = 1{,}30; \quad \frac{0{,}776}{0{,}582} = 1{,}33; \quad \frac{0{,}805}{0{,}654} = 1{,}35.$$

Kurz, alle diese Zusammenstellungen ergaben, trotz der Unregelmässigkeit der Resultate, doch eine gewisse Annäherung an das Erwartete; und sowie ich dieses bemerkt hatte, kam mir der Gedanke, dass ich möglicherweise auf dem Wege sei, das Gesetz des Anwachsens der Absorptionscoefficienten mit der Verdünnung der Lösungen zu finden. Man müsste dafür nur folgende Combination der Lösungen nehmen:

			1,57	g	NaCl	+ 47,8	ccm	Wass.		
			3,14	,,	,,	+ 47,8	,,	,,		
			6,28	,,	,,	+ 47 8	,,	,,		
1,57	g	NaCl + (1,57	g	NaCl	+ 47,8	ccm	Wass.)			
3,14	,,	,, + (3,14	,,	,,	+ 47,8	,,	,,)			
6,28	,,	,, + (6,28	,,	,,	+ 47,8	,,	,,)			

Oben ist in allen Lösungen das Lösungsmittel das Wasser; unten die (eingeklammerten) Lösungen von NaCl in Wasser, welche zudem mit den oben stehenden Lösungen von NaCl identisch sind; folglich haben wir jetzt Lösungen von NaCl allein in den oben angegebenen Richtungen zu vergleichen—Lösungen, in welchen, bei gleichem Gehalt an Wasser, die Salzmengen wie die Zahlen 1, 2, 4 und 8 steigen. Erst will ich zeigen, zu welchen wichtigen Resultaten uns dieser Vergleich geführt hätte, falls die Absorptionscoefficienten der Lösungen denjeningen ihrer Lösungsmittel proportional wären. Zu dem Ende mag der Absorptionscoefficient des Wassers mit α, diejenigen der NaCl-Lösungen [d. h. die der oben stehenden Lösungen und die der mit ihnen identischen unten stehenden Lösungsmittel] mit y_1, y_2, y_4, und die Absorptionscoefficienten der unten stehenden Lösungen mit y_a, y_b, y_c bezeichnet werden. Dem oben Gesagten zufolge erhalten wir

für das 1-e Paar $y_1 : y_a = \alpha : y_1$; woraus $y_a = \frac{y_1^2}{\alpha}$;

,, ,, 2-e ,, $y_2 : y_b = \alpha : y_2$; ,, $y_b = \frac{y_2^2}{\alpha}$;

,, ,, 3-e ,, $y_4 : y_c = \alpha : y_4$; ,, $y_c = \frac{y_2^2}{\alpha}$;

und da $y_a = y_2$ und $y_b = y_4$, haben wir weiter

$$\left.\begin{aligned} y_2 &= \frac{y_1^2}{\alpha}; \\ y_4 &= \frac{y_2^2}{\alpha}; \end{aligned}\right\} \text{ woraus } \begin{aligned} y_4 &= \frac{y_1^4}{\alpha^3} \\ y_1 &= \sqrt[4]{\alpha^3 y_4}. \end{aligned}$$

Setzt man endlich $y_1 = \alpha m$, wo $m < 1$ ist, so entspricht dem Uebergange von der schwächsten Lösung zu den zwei- und viermal concentrirteren folgende Reihe von Absorptionscoefficienten

$$\alpha m \quad \alpha m^2 \quad \alpha m^4.$$

Geht man umgekehrt von dem Coefficienten der am meisten concentrirten Lösung und setzt $y_4 = \alpha n$; so bekommt man für die Lösungen absteigender Concentration folgende Reihe von Coefficienten

$$\alpha n \quad \alpha n^{\frac{1}{2}} \quad \alpha n^{\frac{1}{4}}.$$

Zur Prüfung dieser Verhältnisse stehen uns aus den bereits oben mitgetheilten Versuchen folgende Data zur Verfügung

$$\alpha = 1; \quad y_1 = 0{,}885; \quad y_2 = 0{,}776 \text{ und } y_4 = 0{,}606$$

woraus $y_2 = \frac{0{,}885^2}{1} = 0{,}783; \quad y_4 = \frac{0{,}776^2}{1} = 0{,}602; \quad y_4 = \frac{0{,}885^4}{1} = 0{,}613.$

Hiermit erhalten wir einen sehr deutlichen Hinweis auf die Existenz eines sehr einfachen numerischen Gesetzes für die Veränderung der Coefficienten mit der Concentration der Lösungen.

Bevor ich jedoch weiter gehe, musste noch die Frage entschieden werden, woher die Unregelmässigkeiten in den Resultaten der Versuche mit NaCl und $NaNO_3$ kamen. Die Schuld daran lag, wie wir sogleich sehen werden, in der falschen Dosirung der Lösungen mit der daraus entspringenden Ungleichheit ihrer Volumina; und wenn die Versuchsergebnisse trotz dem annähernd richtig ausgefallen sind, so lag der Grund davon in dem Umstande, dass die Concentrationen der Lösungen schwach und deswegen die Unterschiede in den Volumina unbedeutend waren.—Der der Dosirung untergelegte Satz «die Absorptionserscheinungen können so aufgefasst werden, als böte nur das Wasser der Lösung das absorbirende Medium für das Gas dar» ist nur in dem Falle richtig, wenn man darin nicht die wirklich in der Lösung enthaltene Wassermenge, sondern das dem Volumen der Salzlösung gleiche Volumen desselben versteht. Dementsprechend müssten in den miteinander zu vergleichenden Lösungan von NaCl im Wasser und NaCl + $NaNO_3$ im Wasser nicht die Wassermengen, sondern die resultirenden Volumina gleich sein. Alles dies entschieden die gleich mitzutheilenden Versuche, in welchen beide Dosirungsweisen an starken Lösungen von NaCl verglichen wurden.

Die zu den Versuchen genommene starke NaCl- Lösung, mit einfachem, zweifachem und vierfachem Gehalt am Wasser, lieferte bei 12° C folgende Absorptionscoefficienten:

$$0{,}391; \quad 0{,}615; \quad 0{,}800.$$

Bei t=12° C ist der Absorptionscoefficient von CO_2 im Wasser nach *Bunsen* gleich 1,1018; folglich

$$\frac{0{,}615^2}{1{,}1018} = 0{,}343 \quad \text{(statt } 0{,}391\text{)}$$

$$\frac{0{,}800^2}{1{,}1018} = 0{,}580 \quad \text{(statt } 0{,}615\text{)}.$$

Wurde hingegen die am stärksten concentrirte Lösung (mit $y=0{,}391$) mit einem ihr gleichen Volumen Wasser versetzt, so ergab der Versuch mit dieser Lösung[1] $y=0{,}654$.

$$\frac{0{,}654^2}{1{,}1018} = 0{,}388 \quad \text{(statt } 0{,}391\text{)}.$$

Somit hat die zu Anfang dieser Untersuchung aufgeworfene Frage, dank der letzten Berichtigung, eine Entscheidung erhalten.

Wird eine und dieselbe Menge Salz in verschiedenen Losungsmitteln zu gleich grossen Volumina aufgelöst, so sind die Absorptionscoefficienten der Lösungen den Coefficienten der Lösungsmittel direct proportional.

Zugleich hat sich uns ein Weg zur Frage nach der numerischen Abhängigkeit der Absorptionscoefficienten von der Concentration der Salzlösungen eröffnet. Mit dieser Frage wollen wir uns nun beschäftigen.

18. Zuvörderst war es zu prüfen, ob die obengefundene einfache Beziehung zwischen den Coefficienten für jede beliebige Concentration der Lösungen gilt. Diese Prüfung ist am leichtesten für den Fall durchzuführen, wenn der Coefficient für das Wasser (α der obigen Versuche) gleich 1 ist. Wird hierbei der Coefficient der schwächsten Lösung mit $m<1$ bezeichnet, und nimmt die Menge Salz in gleichen Volumina der Lösung wie die Zahlen.

1 1,5 2 3 4 5 ....

zu, so müssen die entsprechenden Coefficienten

$$m \quad m^{1,5} \quad m^2 \quad m^3 \quad m^4 \ \ldots.$$

sein.

Ordnet man hingegen die Lösungen in umgekehrter Reihenfolge von der stärksten, mit dem Coefficienten $n<1$, ausgehend, und führt die Verdünnung in der Weise aus, dass die Volumina der Lösungen, bei einem und demselben Salzgehalt, wie die Zahlen

1 1,5 2 3 4 5 ....

zunehmen; so müssen die entsprechenden Coefficienten.

$$n \quad n^{\frac{2}{3}} \quad n^{\frac{1}{2}} \quad n^{\frac{1}{3}} \quad n^{\frac{1}{4}} \ \ldots.$$

sein.

Da es für die Bereitung der Lösungen bequemer ist von den stärkeren zu den schwächeren durch Verdünnung zu übergehen, so wurden in den zur

---

[1] Die zu diesen Versuchen verwendete am meisten concentrirte Lösung hatte folgende Zusammensetzung: 53 g NaCl+200 ccm Wasser=218 ccm Lös. Bei Verdünnung um ein gleiches Volumen Wasser wurde von letzterem 200 ccm zugesetzt; und bei Verdünnung um ein gleiches Volumen der Lösung—220 ccm.

Prüfung obiger Verhältnisse angestellten Versuchen die Lösungen in der enstprechenden Reihenfolge zusammengestellt.

Es wurden dazu zwei Salze genommen, NaCl und $NaNO_3$. Die anfängliche NaCl-Lösung enthielt in 50 ccm 15,78 g NaCl+44,20 ccm Wasser, und die entsprechende Lösung von $NaNO_3$—31,26 g Salz+37,05 ccm Wasser. Die Versuche wurden bei 15,2° C angestellt, d. h. bei $\alpha=1$. In der nächstfolgenden Tabelle sind die der Verdünnung entsprechenden Volumina und daneben die erhaltenen Absorptionscoefficienten—je zwei Zahlen für jede Lösung (entsprechend je zweien absorptiometrischen Bestimmungen in jedem Versuch)—angeführt. Die berechneten Coefficienten sind in beiden Reihen aus den ersten beobachteten Coefficienten berechnet.

Tabelle XV

Volum	NaCl-Reihe Beob. Coef.	Ber. Coef.	Volum	$NaNO_3$-Reihe Beob. Coef.	Ber. Coef.
1	0,290 0,290		1	0,242 0,246	
1,5	0,422 0,422	0,438	1,5	0,386 0,384	0,390
2	0,530 0,530	0,538	2	0,495 0,495	0,494
3	0,640 0,640	0,662	3	0,621 0,620	0,625
4	0,726 0,731	0,734	4	0,711 0,707	0,703
5	0,778 0,778	0,780	5	0,762 0,762	0,754
6	0,800 0,804	0,813	6	0,795 0,796	0,790
			7	0,835 0,835	0,817

In der $NaNO_3$-Reihe ist die Uebereinstimmung der beobachteten Coefficienten mit den berechneten, abgesehen von den Verdünnungen 5 und 7, völlig befriedigend, wenn man im Betracht zieht, dass unsere Methode nur die 2-te Decimale in den Coefficienten mit Sicherheit angiebt. Die Zahlen für NaCl erforderten dagegen nachgeprüft zu werden. Zu dem Ende wurden zwei neue Versuche mit der früheren starken und mit sechsfach verdünnter NaCl-Lösung bei 15,2° C und 18,38° C angestellt. Die Zeichen V, t, p, A, A_1 $\frac{p_m}{p_1}$ und y haben dieselbe Bedeutung wie in allen vorhergehenden Versuchen:

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die neuen Coefficienten $y=0{,}281$ und $y=0{,}811$ genauer sind als die früheren 0,290 und 0,802, da die mittelst 0,281 berechneten Zahlen den beobachteten Coefficienten schon sehr nahe kommen:

Beob.	0,422	0,530	0,640	0,720	0,778	0,802
Berechn.	0,420	0,530	0,655	0,728	0,775	0,809.

Verdünn.	V	t	p	A	$A_1\frac{p_m}{p_1}$	y
1	44,8	15,2°C	570,72 818,04	7,196 10,305	10,314	0,281
6	»	»	481,45 609,12	17,500 22,217	22,14	0,811
1	44,8	18,38°C.	567,73 814,03	6,798 9,645	9,74	0,267 0,265
6	»	»	494,16 639,34	16,348 21,211	21,15	0,740

Das Resultat der Versuche bei 18,38° C fiel ebenfalls befriedigend aus. Hier ist α nicht gleich 1, und das Verhältniss von y_1 zu y_6 entspricht αm zu $\alpha \sqrt[6]{m}$, also ist $y_6 = \left(\frac{y_1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{6}} \alpha$. In unserem Fall ist

$$y_6 = \left(\frac{0{,}266}{0{,}895}\right)^{\frac{1}{6}} \times 0{,}896 = 0{,}732 \text{ (beob. } y_6 = 0{,}740).$$

Zum Schluss will ich noch die Resultate eines Controllversuches mit derselben starken NaCl-Lösung bei 12° C anführen.

44,8 ccm bei 12° C und $\begin{matrix}579{,}9 \text{ 6mm.}\\ 815{,}48 \text{ ,,}\end{matrix}$

absorb. $\begin{matrix}7{,}780 \text{ ccm}\\ 11{,}019 \text{ ,, } 10{,}94;\end{matrix}$ $y_1 = \begin{matrix}0{,}300\\ 0{,}302\end{matrix}$

Bei 5-und 6-facher Verdünnung, betragen die Absorptionscoefficienten

$$y_5 = 0{,}845$$
$$y_6 = 9{,}893.$$

Bei 12° C nach *Bunsen* $\alpha = 1{,}1018$; folglich $\frac{0{,}301}{1{,}1018} = 0{,}273$

$$(0{,}273)^{\frac{1}{5}} \times 1{,}1018 = 0{,}8499$$
$$(0{,}273)^{\frac{1}{6}} \times 1{,}1018 = 0{,}877.$$

19. Nachdem so die Existenz eines bestimmten numerischen Gesetzes für das Anwachsen der Absorptionscoefficienten ausser Zweifel gesetzt ist; wird es für das Weitere nothwendig, die Formel der entsprechenden Curve festzustellen.

Aus dem vorhergehenden wissen wir bereits, dass der gesuchte Ausdruck die Form eines Productes haben muss aus dem Coefficienten für Wasser der entsprechenden Temperatur in eine continuirlich wachsende Bruchgrösse, und eine Bruchpotenz, deren Exponent parallel der Volumen-Ver-

grösserung der Lösung abnehmen soll. Eine solche Bruchgrösse kann nur $\frac{1}{e}$ sein, da jede andere Zahl, die grösser als Eins ist, auf e zurückgeführt werden kann[1].

Daher muss die gesuchte Gleichung der Curve folgende Form haben,

$$y = \alpha e^{\frac{-k}{x}},$$

wo die unabhängige Variable x den Verdünnungsgrad oder das Volumen der Salzlösung darstellt, α den Absorptionscoefficienten der Kohlensäure im Wasser der Versuchstemperatur bedeutet und k eine weiter zu bestimmende Constante ist.

Von den Eigenschaften dieser Curve sind besonders folgende hervorzuheben: für $x = \infty$ ist $y = \alpha$; erfolgt also das Anwachsen der Coefficienten genau nach der Formel, so können dieselben auch bei der äussersten Verdünnung der Lösungen den Coefficienten für das Wasser nicht übertreffen. Eine andere für uns wichtige Eingenschaft ist die Existenz eines Inflexionspunktes im Anfangstheile der Curve:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{k\alpha e^{\frac{-k}{x}}}{x}(k - 2x).$$

Solange $2x > k$ ist, kehrt die Curve ihre concave Seite der Abscissenaxe zu; bei $x = \frac{k}{2}$ liegt der Inflexionspunkt; und von da ab ist die Curve convex gegen die Abscissenaxe gekrümmt. Die Ordinate des Inflexionspunktes beträgt

$$y = \alpha e^{-2}; \text{ für } \alpha = 1 \quad y = e^{-2} = 0{,}13534.$$

Es ist kaum nöthig zu sagen, wie es wichtig war eine Curve mit dem Inflexionspunkte durch Versuch zu erhalten und das in Bezug auf die Coordinaten dieses Punktes gesagte zu prüfen.

20. Zu dem Ende wurden Versuche mit übersättigten Lösungen von $CaCl_2$, CaN_2O_6 und Na_2SO_4 vorgenommen; doch gelang es mir nur beim ersten Salz und viel später noch an der gesättigten LiCl-Lösung die Curve bis zum Inflexionspunkt zu verfolgen; obgleich die übersättigte Lösung von CaN_2O_6 gewiss eine noch concentrirtere war [dieselbe erstarrte bei einer zufälligen Erschütterung zu einer marmorfesten Masse].

Die ersten Versuche mit $CaCl_2$-Lösungen bei 15,2° C ergaben folgendes

x		1	1,1	1,2	1,35	1,5	2	3
y	beob.	0,1165	0,1375	0,1655	0,207	0,241	0,344	0,5145
	ber.		0,1416	0,1667	0,204	0,238	0,341	0,488

x		4	5	8	10
y	beob.	0,583	0,675	0,770	0,817
	ber.	0,585	0,650	0,764	0,806.

[1] Mit Hilfe der Gleichung $a^{\frac{1}{\ln a}} = e$.

Die erste Zahl fällt sicher auf den convexen Theil der Curve, weil für $x = 1$ und $y_1 = e^{-k} = 0{,}1165$, $k = 2{,}15$; folglich $x < \frac{k}{2}$ ist;

und der Inflexionspunkt der Curve fällt beinahe mit demjenigen Punkt zusammen, für welchen

$$x = 1{,}1 \quad y = 0{,}1375;$$

weil bei k=2,15 müssten

$$x = 1{,}075 \; y = 0{,}13534$$

sein. Eine grössere Uebereinstimmung der Zahlen mit der Formel konnte nicht erwartet werden. Leider enthält die Coefficientenreihe für den fraglichen convexen Theil der Curve nur eine einzige Ordinate[1], und dieses veranlasste mich neue Versuche an mehr concentrirten Lösungen zu machen.

Die neue sehr dicke ölartige Flüssigkeit war ohne Zweifel übersättigt, weil sie am nächsten Tage nach ihrer Bereitung bei einer zufälligen Erschütterung erstarrte (übrigens sind in dieser Beziehung die übersättigten Lösungen von Ca-Salzen viel weniger launenhaft als die von Na_2SO_4).

Die zwei ersten Versuche mit der neuen Lösung für x=1 und x=1,1 misslangen (ich erhielt y_1=0,054—0,049 $y_{1,1}$=0,080—0,089); von der 3-ten Verdünnung an (x=1,2) gingen jedoch die Erscheinungen regelmässig, und für den convexen Theil wurden jetzt 3 Ordinaten erhalten; Versuchstemperatur ist auch hier 15,2° C.

x		1,2	1,3	1,4	1,5	2	2,2	2,4
y	beob.	0,0947—0,095	0,1125	0,1295	0,150	0,241	0,2725	0,315
	ber.	0,09475	0,113	0,128	0,152	0,243	0,276	0,308

Setzt man die erste Verdünnung gleich 1, so werden die darauf folgenden drei Verdünnungsgrade 1,0833, 1,166, 1,25 betragen und der Abscisse x=1,166 wird y=0,1295 entsprechen.

$$\text{Für } x = 1 \text{ und } y_1 = e^{-k} = 0{,}09475, \; \frac{k}{2} = 1{,}175;$$

folglich haben wir für die Coordinaten des Inflexionspunktes

$$x = 1{,}175; \quad y = 0{,}13534,$$

während der Versuch

$$\text{für } x = 1{,}166 \; y = 0{,}1295$$

ergeben hat. Ferner ist es serh leicht sich zu überzeugen, dass die beobachtete Curve innerhalb der ersten 3 Abscissenlängen nach unten convex ist.

Zwei weitere Versuche mit $CaCl_2$ wurden in der Absicht angestellt, diejenige Zusammensetzung der Lösung zu finden, welche die Ordinate des Inflexionspunktes liefert.

---

[1] Die LiCl-Lösung gab ebenfalls nur eine einzige Ordinate für den convexen Theil der Curve, namentlich y_1=0,122; $y_{1,1}$=0,146; deshalb führe ich die Versuche mit dieser Lösung nicht an.

Der Coefficient der dazu gebrauchten anfänglichen Lösung war für $t=15{,}2°$ C.

$$y = 0{,}123.$$

Um hieraus die gesuchte Lösung zu erhalten, musste die anfängliche vom Volumen 100 auf das Volumen 104,6 verdünnt werden[1]. Die letzte Lösung ergab

$$y = 0{,}1349.$$

Nach Beendigung des Absorptionsversuches wurde die Flüssigkeit aus dem Absorptiometer genommen und analysirt; es zeigte sich, dass

$$\text{in 100 ccm Lösung} \begin{cases} 48{,}20 \text{ g } CaCl_2 \\ 85{,}96 \text{ ,, Wasser} \end{cases}$$

enthalten waren, d. h. beinahe 11 H_2O auf $CaCl_2$ (10,99 statt 11).

21. Jetzt will ich zeigen, dass die $CaCl_2$-Curve mit den uns schon bekannten Curven von $NaNO_3$ und NaCl zusammenfällt, wie es die ihnen zu Grunde liegende Formel, bei gleichem α in allen 3 Fällen, verlangt.

Man braucht hierfür nur eine für die Abmessung der Abscissenlängen gemeinsame Maasseinheit in alle 3 Curven einzuführen.

Zu dem Ende wollen wir erst an der letzt beobachteten $CaCl_2$-Curve, nach den Zahlenwerten für x und y der anfänglichen Lösung [d. h. nach $x=1{,}2$ und $y=0{,}09475$] die den Ordinaten 0,13534, 0,244 und 0,281 entsprechenden Abscissen berechnen. Dieselben werden der Reihe nach

$$1{,}413 \qquad 2{,}004 \qquad 2{,}228$$

betragen. Nehmen wir ferner für den Inflexionspunkt, anstatt $x=1{,}413$, $x=1$ an; dann treten an die Stelle der früheren Zahlen folgende neue auf:

$$x = 1 \qquad x = 1{,}42 \qquad x = 1{,}58.$$

Bei $x=1$, die Ordinate des Inflexionspunktes ist $y = e^{\frac{-2}{1}}$; folglich werden die den 3 letzten Abscissen entsprechenden Ordinaten

$$y = e^{\frac{-2}{1}} = 0{,}135; \quad y = e^{\frac{-2}{1{,}42}} = 0{,}244 \text{ und } y = e^{\frac{-2}{1{,}58}} = 0{,}281$$

betragen.

Jetzt wenden wir uns zu den 1-ten Coefficienten der $NaNO_3$- und NaCl-Curve. Bei $x=1$ betragen dieselben:

$$\text{für } NaNO_3\text{-Curve } y_1 = e^{\frac{-k}{1}} = 0{,}244; \qquad k = 1{,}41$$

woraus

$$\text{,, NaCl-Curve } y_1 = e^{\frac{-k}{1}} = 0{,}281; \qquad k = 1{,}26.$$

[1] Für die anfängliche Lösung ist $y = e^{-k} = 0{,}123$ und für die gesuchte $y' = e^{\frac{-k}{z}} = 0{,}135$; folglich $Z = \frac{\log 0{,}123}{\log 0{,}135} = 1{,}046$.

Sollten also die 3 Curven wirklich zusammenfallen, so müsste k der $NaNO_3$-Curve dem Quotient $\frac{2}{1,42}$ und k der NaCl-Curve dem Quotienten $\frac{2}{1,58}$ gleich sein, und dieses sehen wir in der That

$$\frac{2}{1,42} = 1,41; \quad \frac{2}{1,58} = 1,26.$$

Wird also die Abscisse des Inflexionspunktes als Maasseinheit für die Abscissenlängen der Absorptionscurve angenommen, so erhält alsdann unser numerisches Gesetz des Anwachsens der Absorptionscoefficienten folgenden Ausdruck

$$y = \alpha e^{\frac{-2}{x}}$$

und für $\alpha = 1$

$$y = e^{\frac{-2}{x}} *.$$

22. Jetzt müsste die wichtige Frage über den Einfluss der Temperatur auf das Absorptionsvermögen der Salzlösungen an die Reihe kommen. Oben im § 17, ehe unsere Grundformel aufgestellt werden konnte, haben uns Versuche mit Lösungen eines und desselben Salzes in verschiedenen Lösungsmitteln zu dem Schlusse geführt, dass eine und dieselbe Menge Salz, in verschiedenen Lösungsmitteln zu gleich grossen Volumina aufgelöst, Flüssigkeiten liefert, deren Absorptionscoefficienten denjenigen der Lösungsmittel proportional sind. Es folgte hieraus ohne Weiteres, dass dasselbe Verhältniss zwischen den Coefficienten auch in dem Falle bestehen müsse, wenn eine und dieselbe Menge Salz im Wasser verschiedener Temperaturen aufgelöst wäre. Dasselbe ergiebt sich ebenfalls aus der Gleichung $y = \alpha e^{\frac{-k}{x}}$, wenn sie für alle Temperaturen gilt, denn in diesem Ausdruck ändern sich ja mit der Temperatur nur die Zahlenwerte von α (d. h. die Absorptionscoefficienten von CO_2 im Wasser verschiedener Temperaturen). Könnte also das letztere an einigen Beispielen bewiesen werden, so würden die Curven aller die Kohlensäure nach unserer Gleichung absorbirenden Salzlösungen ein System paralleler Curven darstellen. Leider ist dieses glänzende Resultat nicht so leicht zu erreichen: die Versuche sind von vielen Schwierigkeiten umgeben, weil das Erwärmen jeder gegebenen Salzlösung stets drei auf ihr Absorptionsvermögen wirkende Einflüsse mit sich bringt: indem es das Absorptionsvermögen des Auflösungsmittels erniedrigt, das Volumen der Lösung vergrössert und den Dissociationszustand des Salzes in der Lösung befördert.

---

* In meinem Arbeitsjournal finden sich die Absorptionscoefficienten einiger gesättigen und übersättigen Salzlösungen (letztere sind mit einem Sternzeichen versehen) für t = 15,2° C:

$CaCl_2$*	LiCl	CaN_2O_6*	$MgSO_4$	$ZnSO_4$	Na_2SO_4*
0,09475	0,122	0,1445	0,188	0,209	0,2335

Die diesen Ordinaten aus der Gleichung $y = e^{\frac{-2}{x}}$ entsprechenden Abscissen sind der Reihe nach:

0,848	0,950	1,033	1,196	1,265	1,375.

Zu dem würden die absorptiometrischen Erfolge dieser Einflüsse bei wenig voneinander abstehenden Temperaturen so gering sein, dass die Entscheidung der Frage eigentlich nur durch Versuche bei weit voneinander abstehenden Temperaturen zu erzielen war. Der letzte Umstand war der Grund, warum ich von den Versuchen abstehen musste: es ist nämlich mit meinem Absorptiometer sehr schwer, genaue Resultate bei Temperaturen zu erhalten, welche weit von der Temperatur des Versuchszimmers abweichen. Das wenige, was in Bezug auf die Frage angeführt werden kann, bezieht sich auf die Versuche mit NaCl-Lösungen bei 18,38° C und 21,7° C, welche in der Tab. X angeführt sind. Aber auch diese führe ich nur deswegen an, weil sie, obgleich bei wenig abstehenden Temperaturen, jedoch ohne vorgefasste Meinung angestellt waren,—zur Zeit, als ich noch keine Ahnung von den jetzt in der Rede stehenden Verhältnissen hatte. Dieselben wurden glücklicherweise volumetrisch dosirt, so dass es möglich war die dort angegebenen Concentrationen in die Verdünnungen umzurechnen. Setzt man zu dem Ende den Verdünnungsgrad der stärksten Lösung in jeder Reihe gleich 1, so werden die nachfolgenden der Reihe nach gleich 1,2; 1,5; 2, 3 und 6 sein. Bei 18,38° ist nach meinen Versuchen der Absorptionscoefficient von CO_2 im Wasser $\alpha=0{,}896$ und bei 21,7 $\alpha=0{,}825$. Die Controllzahlen sind mittelst dieser Coefficienten berechnet. Den Versuchen bei 21,7° ist ferner eine Reihe eingeklammerter Zahlen beigegeben; dieselben sind durch Multiplication der für 18,38° beobachteten Zahlenwerthe von y in den Quotient $\frac{0{,}825}{0{,}896}$ erhalten.

	x	1	1,2	1,5	2	3	6
18,38° C	y beob.	0,427	0,483	0,533	0,610	0,702	0,795
	y ber.		0,483	0,546	0,618	0,700	0,792
21,7° C	y beob.	0,394	0,437	0,497	0,560	0,630	0,726
	y ber.		0,445	0,504	0,570	0,645	0,739
		(0,303)	(0,444)	(0,491)	(0,562)	(0,646)	(0,732)

23. Weiter oben bei der Besprechung der in der Tabelle XV zusammengestellten Versuchsergebnisse ist gesagt worden, dass wenn man die relative Grobheit der Methode in Betracht zieht, welche die Coefficienten nur bis auf die zweite Decimale genau angiebt, so ist die Uebereinstimmung zwischen der Zahlen für $NaNO_3$ und der Formel, mit Ausnahme der letzten Zahl, eine genügende. Die Abweichung dieser Zahl konnte, trotz ihrer Grösse, allerdings als ein zufälliger Beobachtungsfehler angesehen werden; so wie ich aber gleich darauf zwei Versuchsreihen an Lösungen von Na_2SO_4 anstellte, konnte dieselbe einer Zufälligkeit nicht mehr zugeschrieben werden.

Für die 1-e Versuchsreihe wurde eine übersättigte Lösung von Na_2SO_4* genommen. Dieselbe lieferte bei 15,2° C folgende Reihe von Zahlen:

x		1	2	3	4	5	6
y	beob.	0,2335	0,485	0,620	0,700	0,7535	0,790
	ber.		0,483	0,616	0,695	0,748	0,785

* Dieselbe erstarrte mir nach Beendigung des Versuches in dem Recipienten des Absorptiometers.

Für die 2-te Reihe wurde eine schwächere Lösung zufälliger Concentration genommen

x		1	1,5	2	3	4	6
y	beob.	0,6455	0,7525	0,809	0,876	0,910	0,950
	ber.		0,746	0,803	0,864	0,896	0,929

Die 2-te Curve ist leicht als Fortsetzung der ersten aus der Gleichung $\log \frac{0{,}2335}{x} = \log 0{,}6455$ zu berechnen. Dann werden die Abscissen des zweiten Abschnittes der Curve: 3,323; 4,984; 6,646; 9,969; 13,292 und 19,938 betragen; folglich wird der letzte Coefficient der 2-ten Reihe fast einer 20-fachen Verdünnung der übersättigten Lösung entsprechen.

Hier kann von einer zufälligen Abweichung der Zahlen von der Formel keine Rede sein, da die beobachteten Coefficienten durchweg höher als die berechneten sind, und zwar nimmt ihre Erhöhung mit der Verdünnung ziemlich regelmässig zu; so dass anfangs die Abweichung der Zahlen noch in den Fehlergrenzen der Methode liegt und erst in dem letzten Gliede der 2-ten Reihe diese Grenzen entschieden übertrifft. Ganz dasselbe boten die Zahlen der $NaNO_3$-Curve dar, indem die Abweichung auch hier erst von dem 4-ten Gliede der Reihe an merklich wurde und nur in dem letzten 7-ten Coefficienten die Fehlergrenzen der Methode übertraf. Der Umstand, dass die Erhöhung der letzten Coefficienten in der $NaNO_3$-Curve bei 7-facher Verdünnung der gesättigten Lösung und in der Na_2SO_4-Curve erst bei 20-facher eintrat, ist leicht zu erklären: die Nitrate sind ja viel leichter dissociirbar als die Sulfate.

Zur weiteren Prüfung des Gewonnenen wurde noch ein Versuch mit stark diluirten Lösungen von $CaCl_2$ gemacht, da dieses Salz bekanntermassen Wasser äusserst stark bindet, folglich die Abweichung der CO_2-Absorption von der Formel im Sinne des schnelleren Anwachsens der Coefficienten hier am wenigsten zu erwarten war. Der Versuch ergab dennoch, gleich den Versuchen mit Na_2SO_4, eine Abweichung in diesem Sinne:

	x		1	1,5	15	30
$CaCl_2$	y	beob.	0,097	0,210	0,867	0,9435
		ber.		0,211	0,856	0,925.

Endlich entnehme ich meinem Arbeitsjournal noch einen Versuch, welcher dasselbe für ein sehr leicht dissociirbares Salz beweist.

PbN_2O_6; $t = 15{,}2°$ C

x		1	1,3	2,6
y	beob.	0,617 — 0,622	0,697	0,851
	ber.		0,692	0,832.

Nebst diesen Versuchen besitze ich noch andere, welche das Gleiche beweisen; diese anzuführen halte ich jedoch für überflüssig, da die in Rede stehende Abweichung weiter unten noch auf eine andere Weise bewiesen wird. Jetzt habe ich das Gefundene nur durch folgende Bemerkung zu ergänzen: da das Anwachsen der Absorptionscoefficienten mit der Verdünnung der

Lösungen nur ein stetiges sein kann, so muss, bei der für starke Verdünnungen bewiesenen Abweichung der Curve von der Formel, angenommen werden, dass die Abweichung längs der ganzen Curve besteht und an den Coefficienten der concentrirten Lösungen (in den anfänglichen Theile der Curven) nur wegen ihrer Kleinheit und wegen der Grobheit der Methode vermisst wird.

Es muss somit aus den oben mitgetheilten Versuchen der Schluss gezogen werden, dass *die Absorptionscurven überhaupt etwas steiler ansteigen, als dies von der Formel gefordert wird*, woraus weiter folgt, dass *die Absorptionscoefficienten der Salzlösungen, bei äusserster Verdünnung derselben, diejenigen des Wassers der entsprechenden Temperatur übertreffen müssen.*

Letzteres geht übrigens aus der Gleichung $y = \alpha e^{-\frac{k}{x}}$ direct hervor; ginge das Anwachsen der Coefficienten genau nach dieser Gleichung, so könnten die Absorptionscoefficienten der Lösungen denjenigen des Wassers nie übertreffen, denn für $x = \infty$, $y = \alpha$.

24. Jetzt will ich den Leser an die Versuche mit oxalsaurem Natron und die denselben beigegebene graphische Darstellung der Resultate erinnern (oben § 8). Die Versuche ergaben eine deutliche Erhebung der Coefficienten über das Niveau der CO_2-Absorption durch das Wasser mit nachfolgender Erniedrigung derselben bei weiterer Verdünnung, wobei die Erhebung als Zeichen einer höchst geringen Zersetzung des stark dissociirten Salzes durch CO_2 interpretirt wurde. War es in Anbetracht solcher Thatsachen nicht natürlich zu denken, dass dasselbe möglicherweise auch an den Lösungen von Salzen mit starken mineralischen Säuren sich treffen werde, da die Stärke der letzteren doch nicht unendlich gross ist im Vergleich zu Kohlensäure? Auch behielt ich diese Verhältnisse bei den darauf folgenden Versuchen mit NH_4NO_3 (§ 11 Tab. IX) im Auge. Die Resultate fielen jedoch in dieser Beziehung negativ aus—es wurde in keinem einzigen Versuche eine Erhebung des Coefficienten über das Niveau der CO_2-Absorption durch das Wasser beobachtet,—und ich liess den Gedanken fallen. Jetzt entsteht aber derselbe von neuem, und zwar nicht mehr als ein hypothetischer Analogieschluss, sondern als eine logische Folgerung aus den wirklich beobachteten Thatsachen. Die experimentelle Prüfung des Verhältnisses ist also jetzt viel dringender als zuvor angezeigt, und ich entschloss mich deshalb eine solche mit äusserster Sorgfalt und unter allen möglichen Vorsichtsmassregeln auszuführen.

Zu dem Ende musste behufs der Controlle der Resultate neben dem Versuche mit der Salzlösung noch der Versuch mit dem für die Bereitung derselben gedienten Wasser gemacht werden, und zwar beide gleich nacheinander und unter möglichst gleichen Bedingungen. Das Wasser wurde hierbei speciell auf seine Reinheit untersucht und gab mit Phenolphthalein nicht die geringsten Zeichen der alkalischen Reaction. Die Druckhöhen, unter welchen die Absorption in beiden Versuchen geschah, differirten um mehr als 300 mm voneinander, damit der allgemeine Verlauf der Erscheinungen, in Bezug auf ihre Abhängigkeit von dem Druck, scharf hervortrete.

Als Physiologe, wählte ich zu diesem Versuch die sogenannte physio-

logische NaCl-Lösung, 6 auf 1 000 (dies ist der procentische Gehalt des flüssigen Theiles des Blutes an diesem Salz).

Name	V	t	p	A	$A_1\frac{p_2}{p_1}$	a	
Wasser	46,44	15,2°C	115,02 448,35	5,366 21,156	20,919	1,004 1,016	1,010
Physiolog. NaCl-Lösung	46,44	15,2°C	92,39 431,71	4,508 20,981	21,06	1,050 1,046	1,048

Sofern die durch diese Versuche constatirte Erhebung der Absorptionscoefficienten über das Niveau der CO_2-Absorption durch das Wasser nur als Zeichen einer höchst geringen Zersetzung des stark dissociirten Salzes durch CO_2 erklärt werden konnte, war es natürlich zu probiren, wie sich in dieser Beziehung die Absorptionscoefficienten der wässerigen Lösungen von Säuren verhalten werden. Sollte es sich hierbei erweisen, dass dieselben die Kohlensäure genau nach unserer Grundformel absorbiren, so würden wir darin einen neuen Beweis für die Existenz der chemischen Reaction zwischen Salz und CO_2 bekommen.

Zu diesen Proben mussten aber nur solche Säuren genommen werden, welche in reinem Zustande feste Körper darstellen, weil unsere Formel nur für solche Fälle gelten kann. Aus diesem Grunde wurden zu den Versuchen unter den Mineralsäuren die Metaphosphosäure (PHO_3) und unter den organischen die Citronen- und Weinsteinsäure genommen [1].

Die Anfangslösung von PHO_3 enthielt in 100 ccm 73,732 g Säure und 76,528 g Wasser. Der erste Versuch gab $y = 0{,}1635$; und bei Wiederholung desselben am nächsten Tage (wobei natürlich, zur Befreiung der Flüssigkeit von den Gasen, dieselbe vor dem Versuche von neuem im Vacuo aufgekocht war) erhielt ich $y = 0{,}132$. Die Flüssigkeit gab jetzt mit $AgNO_3$ einen Niederschlag, es war also ein Theil von PHO_3 in PH_3O_4 übergangen, wodurch der Absorptionscoefficient, wie in den Mischungen von SH_2O_4 mit geringen Mengen Wasser, abgenommen hatte. Zweifache und vierfache Verdünnungen ergaben zwar noch keine befriedigende, doch dem Gesetze schon näher liegende Zahlen. Hierauf wurde die verdünnte Lösung stark aufgekocht und von y_8 ab wurde eine regelmässige Reihe erhalten.

---

[1] Daneben wollte ich doch mit Lösungen einer flüssigen Säure probiren und nahm als solche die dicke syrupartige Milchsäure. Die damit erhaltenen sonderbaren Resultate führe ich als ein einstweilen unenträthseltes Curiosum an.

x	1	2	4	8
y	1,436—1,441	0,956	0,9355	0,970.

Die unverdünnte dicke Flüssigkeit absorbirte beinahe anderthalb so viel CO_2 wie das reine Wasser; hierauf trat mit der Verdünnung statt der Erhöhung eine Abnahme des Absorptionsvermögens ein, und dieses dauerte bis zur 4-fachen Verdünnung der Lösung.

In der nachstehenden Reihe sind die «berechneten» Coefficienten von y_8 bis y_{128} und von y_8 rückwärts zu y_1 mit Hilfe y_8 berechnet.

x		1	2	4	8	16	32	64	128
y	beob.	0,132	0,293	0,519	0,709	0,841	0,915	0,960	0,984
	ber.	0,0683	0,2527	0,5027		0,842	0,917	0,958	0,979

Citronensäure.

x		1	1,5	2	3	6	12	50
y	beob.	0,719	0,7935	0,841	0,893	0,950	0,975	1,007
	ber.		0,803	0,848	0,896	0,946	0,973	0,995

x Weinsteinsäure.

y	beob.	0,6215	0,785	0,849	0,988	1,0035
	ber.		0,788	0,854	0,984	0,992.

Somit hat sich das oben vorausgesetze Verhalten der Lösungen von Salzen starker mineralischer Säuren gegen CO_2 bewährt:

Sofern die Stärke dieser Säuren nicht unendlich gross ist in Vergleich mit der Stärke von CO_2, wirkt die letztere auf das aufgelöste Salz zersetzend, indem sie demselben um so mehr seiner Base entzieht, je verdünnter die Lösung ist. Hierdurch wird die Reaction zwischen den Salzlösungen und CO_2 eine zweifache—ein Wettstreit zwischen Salz und CO_2 um das Wasser und um die Base; dem Wettstreit um das Wasser entspricht die Absorption CO nach der Gleichung $y = e^{-\frac{k}{x}}$; dem Wettstreit um die Base—das gegen diese Formel steilere Ansteigen der Coefficienten.

Zugleich damit erweist sich der Unterschied in dem absorptiometrischen Verhalten gegen CO_2 der Lösungen von Salzen schwacher und starker Säuren nur als ein quantitativer: in jenen tritt die chemische Reaction zwischen dem Salz und CO_2 sehr scharf auch in concentrirten Lösungen zu Tage; und in diesen ist dieselbe nur in stark diluirten Lösungen merklich, aber auch hier ist dieselbe so gering, dass die Absorption des Gases nach dem Dalton'schen Gesetze erfolgt.

IV. ANALOGIEN ZWISCHEN DER AUFLÖSUNG VON GAS UND SALZ IN EINER ZU BEIDEN INDIFFERENTEN SALZLÖSUNG

1. Um zu sehen, wie weit man die von mir für die Absorption von CO_2 durch Lösungen von Salzen mit starken Säuren gefundenen Gesetze auf andere Gase und Flüssigkeiten oder sogar auf die Auflösung fester Körper übertragen darf, entschloss ich mich meine Versuche in einer anderen Form fortzusetzen, nämlich anstatt des Gases Salze in den Salzlösungen aufzulösen. Indem ich hierdurch genötigt war, erst die Litteratur der Arbeiten über die Auflösung der Salzgemische im Wasser durchzusehen, war ich so glücklich in der schönen Arbeit des Herrn Bodländer: «Ueber die Löslichkeit von Salzgemischen in Wasser»[1] fertiges Material für die Bearbeitung der

[1] Zeitschr. f. physik. Chem. 7, Heft 4.

Frage im vorgesetzten Sinne, oder genauer, für die ersten Proben in dieser Richtung, zu finden. Dieses verdanke ich dem Umstande, dass Herr Bodländer unter allen Forschern auf diesem Gebiete mit verschieden konzentrierten Flüssigkeiten arbeitete und den Salzgehalt derselben stets auf das Volumen der Lösungen (wie ich es in meinen Absorptionsversuchen zu thun genötigt war) bezog.

Eine Zusammenstellung und kleine Umrechnung seiner Zahlen im Sinne meiner Absorptionsversuche führte mich zu dem Schlusse, dass

in gewissen Grenzen mein numerisches Gesetz, $y = \alpha e^{\frac{-k}{x}}$ *für das Anwachsen der Absorptionscoefficienten von* CO_2 *in den Salzösungen auch für die Auflösung der Salze in den Salzlösungen gilt.*

Wie man diesem Schlusse gelangt, will ich ausführlich an einem einzigen Beispiele zeigen, die Zahlen der Tabelle III (I. c. S. 360) hierzu benutzend.

Für die Versuche mit dem Gase ordnet man die absorbierenden Lösungen eines gegebenen Salzes in eine Reihe von Gliedern ein, und zwar so, dass der absolute Salzgehalt der Flüssigkeiten konstant bleibt und nur die Volumina der Lösungen mit der fortschreitenden Verdünnung beständig zunehmen. Sind hierbei nebst diesen Volumina die Absorptionscoefficienten einzelner Glieder sowie derjenige des reinen Wassers für die nämliche Temperatur bekannt, so hat man alle Daten zur Prüfung des Gesetzes, nach welchem die Coefficienten mit der Verdünnung der Flüssigkeit anwachsen. Steigen nämlich die Volumina der Salzlösungen etwa wie die Zahlenreihe 1, 2, 3, 4... an; ist ferner a der beobachtete Coefficient der am meisten konzentrierten Lösung; α derjenige des reinen Wassers, und $\frac{a}{\alpha} = m$ (hierbei ist stets $m < 1$); so ordnen sich die Absorptionscoefficienten in die Reihe.

$$\alpha m \quad \alpha m^{\frac{1}{2}} \quad \alpha m^{\frac{1}{3}} \quad \alpha m^{\frac{1}{4}} \ldots\ldots$$

ein, so wie das Anwachsen nach der Gleichung $y = \alpha e^{\frac{-k}{x}}$ erfolgt.

Nun müssen die Versuchsdaten der erwähnten Tabelle III offenbar in eine analoge Reihe eingeordnet werden.

Zu dem Ende will ich eins von beiden Salzen, nämlich $NaNO_3$, als zum Lösungsmittel gehörend betrachten; dann wird NaCl den bis zur Sättigung aufzulösenden Körper darstellen und dem absorbierten Gase in meinen Versuchen entsprechen. Die beobachteten Mengen dieses Salzes mit 100 dividiert, werden demnach die *Lösungscoefficienten* von NaCl in Lösungen von $NaNO_3$ darstellen.

Somit haben wir für das erste Glied der aufzustellenden Reihe $a = 0{,}1967$ (aus dem Salzgemisch 8), $\alpha = 0{,}3178$ (aus dem Gemisch 1), $m = \frac{0{,}1967}{0{,}3178}$; und jetzt bleibt es nur noch übrig die Bedeutung der unabhängigen Variablen x festzusetzen.

In den Versuchen mit der Absorption des Gases habe ich diese Grösse allerdings auf die Volumina der absorbierenden Salzlösung bezogen, dieselbe

könnte jedoch ebenso gut auf die Volumina der Flüssigkeiten nach geschehener Absorption des Gases bezogen werden, denn diese ändert ja das Volumen der absorbierenden Salzlösung so gut wie unmerklich. Hieraus folgt ohne weiteres, dass in dem jetzigen Falle die Variable x nicht das Volumen der auflösenden Flüssigkeit, sondern dasjenige des aufgelösten Salzgemisches darstellen muss.

Demgemäss sind, bei konstantem Gehalt an $NaNO_3$ von 37,64 g, in

den Salzgemischen	8	6	5	4	3	2
die Volumina der Lösungen . . .	100,00	111,36	133,57	174,42	284,29	499,87

Jetzt haben wir alle Daten zur Aufstellung der gesuchten Reihe:

		beobachtet
Gemisch 8	$0{,}3178\,\frac{0{,}1967}{0{,}3178} =$	0,1967
Gemisch 6	$0{,}3178\left(\frac{0{,}1967}{0{,}3178}\right)^{\frac{1}{1{,}1136}} = 0{,}2065$	0,2040
Gemisch 5	$0{,}3178\left(\frac{0{,}1967}{0{,}3178}\right)^{\frac{1}{1{,}3358}} = 0{,}2219$	0,2230
Gemisch 4	$0{,}3178\left(\frac{0{,}1967}{0{,}3178}\right)^{\frac{1}{3{,}7442}} = 0{,}2413$	0,2398
Gemisch 3	$0{,}3178\left(\frac{0{,}1967}{0{,}3178}\right)^{\frac{1}{2{,}8429}} = 0{,}2684$	0,2631
Gemisch 2	$0{,}3178\left(\frac{0{,}1967}{0{,}3178}\right)^{\frac{1}{4{,}9987}} = 0{,}2887$	0,2789

In allen übrigen Tabellen sind die Zahlen auf dieselbe Weise umgerechnet, es genügt demnach nur die von Herrn *Bodländer* beobachteten Coefficienten mit den von mir berechneten zusammenzustellen.

Tabelle IV.

Löslichkeit von $NaNO_3$ in Lösungen von NaCl.

Nr. des Gemisches	8	5	4	3	2
beobachtet	0,3892	0,4266	0,4708	0,5209	0,5676
berechnet		0,4213	0,4664	0,5182	0,5631

Tabelle I.

Löslichkeit von KCl in Lösungen von KNO_3.

Nr. des Gemisches	8	5	3	2
beobachtet	0,2624	0,2598	0,2734	0,2750
berechnet		0,2633	0,2752	0,2799

Tabelle II

Löslichkeit von KNO_3 in Lösungen von KCl.

Nr. des Gemisches	8	5	4	3	2
beobachtet	0,1679	0,1896	0,2023	0,2244	0,2459
berechnet		0,2043	0,2166	0,2370	0,2518

Wäre ich in der letzten Tabelle von dem Salzgemisch 7 ausgegangen, so würden die berechneten Grössen den beobachteten schon näher stehen, und noch näher, wenn ich zum ersten Glied das Gemisch 6 genommen hätte. Die berechneten Coefficienten würden alsdann folgende Reihe darstellen.

Nr. des Gemisches	6	5	4	3	2
beobachtet	0,1767	0,1896	0,2023	0,2244	0,2439
berechnet		0,1957	0,2092	0,2318	0,2484

Die Aehnlichkeit der beobachteten Zahlen mit den berechneten ist überall augenscheinlich; folglich ist der oben aufgestellte Satz als bewiesen zu betrachten, einstweilen natürlich nur für 4 verschiedene Salzkombinationen.

2. Jetzt will ich auf Grund derselben Tabellen zeigen, dass *das Gesetz nur für einen mässigen und schwachen Gehalt des Salzgemisches an jenem Salze gilt, welches man als das zum Lösungsmittel gehörende gewählt hat*[1].

Für die Auflösung der Salze durch stark concentrierte Salzlösungen gilt die Gleichung $y = \alpha e^{\frac{-k}{x}}$ nicht mehr.

In der Tabelle III wurde $NaNO_3$ als das zum Lösungsmittel gehörende Salz gewählt. Der höchste Gehalt an demselben in den Gemischen 8 und 7 beträgt nur 37—38 g auf 100 ccm, während das nämliche Volumen einer gesättigten $NaNO_3$-Lösung in Wasser mehr wie 62 g Salz enthält. Folglich entspricht das oben berechnete Curvenstück der Lösungscurve von NaCl nur den mässigen und den schwachen Concentrationen der auflösenden Flüssigkeit. Hätte ich hingegen in der Tabelle IV anstatt NaCl, wie ich es gethan habe, $NaNO_3$ für das zum Lösungsmittel gehörende Salz genommen, so würde hier der Anfang der NaCl-Curve auf starke Concentrationen der auflössigkeit fallen. Es genügt demnach die Zahlen der Tab. IV in diesem Sinne umzurechnen, um zu sehen, ob das Gesetz auch fur starke Concentrationen gilt.

Gehört in der Tabelle IV $NaNO_3$ zum Auflösungsmittel, so ist als erstes Glied der Reihe das Gemisch 2 zu nehmen. Man bekommt alsdann $a = 0{,}0400$; $\alpha = 0{,}6238$; $m = \frac{0{,}04}{0{,}6238}$; die Volumina betragen (von Gemisch 2 zu 6): 100 108, 96, 133,05 . . . . . und die entsprechenden Coefficienten sind:

$$0{,}6238\left(\frac{0{,}04}{0.6238}\right)^{\frac{1}{1.0896}},\ 0{,}6238\left(\frac{0{,}04}{0{,}6238}\right)^{\frac{1}{1.3305}} \ldots$$

[1] Hierin liegt wahrscheinlich der Grund, warum die in Tab. II nach dem Gemisch berechneten Grössen von den beobachteten abweichen.

Die auf diese Weise berechneten Grössen sind der Reihe nach:

beobachtet	0,0400	0,0724	0,1136	0,1533	0,1781
berechnet		0,0501	0,0639	0,791	0,0904

Dieses war übrigens zu erwarten, weil die Auflösung eines Salzes in gesättigten Lösungen eines anderen, ohne merkliche Aenderung des Volumens der letzteren, unmöglich ist, während das Gas durch solche Lösungen stets in merklicher, manchmal in ziemlich grosser Menge, und zwar ohne merkliche Aenderung des Volumens, absorbiert wird.

Hiermit werden schliesslich folgende 2 Sätze streng bewiesen:

1) *sind Anziehungen zwischen Salz und Wasser einerseits, zwischen* CO_2 *und Wasser andererseits, gleicher Ordnung; und*

2) *gilt die Gleichung* $y = \alpha e^{\frac{-k}{x}}$ *für die Auflösung aller Gase in den zu ihnen indifferenten Salzlösungen.*

II

PHYSIOLOGISCHE STUDIEN ÜBER DIE HEMMUNGSMECHANISMEN FÜR DIE REFLEXTHÄTIGKEIT DES RÜCKENMARKS IM GEHIRNE DES FROSCHES

Herrn Proffessor C. Ludwig seinem hochgeehrten Lehrer und Freunde widmet aus Dankbarkeit der

Verfasser

Bei der vorliegenden Untersuchung ging ich von der Hypothese des hemmenden Einflusses des Gehirns auf die reflectorische Thätigkeit des Rückenmarks aus. Diese Hypothese ist bekanntlich eine von den zwei möglichen Erklärungsweisen für die Zunahme von Reflexbewegungen in Folge der Köpfung eines Thieres[1]. Zur weiteren Unterstützung dieser Hypothese kann noch die von Ed. Weber zuerst mit gewissem Recht (wegen seiner berühmten Entdeckung des hemmenden Einflusses des Vagus auf das Herz) ausgesprochene Idee angeführt werden, wonach der Wille, dessen Sitz gewöhnlich im Gehirn angenommen wird, einen hemmenden Einfluss auf die Reflexbewegungen des Rückenmarks auszuüben im Stande ist.

Jedenfalls ist es aber klar, dass diese Hypothese das Vorhandensein der hemmenden Mechanismen im Gehirne voraussetzt. Diese zu finden, sie zur Anschauung zu bringen, war meine nächste Aufgabe. Ich musste also das Gehirn des Thieres zergliedern, jeden einzelnen Theil desselben in Bezug auf seine Wirkung auf die Rückenmarksreflexe prüfen, mit einem Worte, ich war genöthigt, grobe Eingriffe in einen so zarten Mechanismus, wie es das Gehirn ist, anzuwenden. Die Resultate solcher Versuche mussten mir natürlich von vorne her bedenklich erscheinen; ein strenges Ueberlegen führte mich jedoch bald zur Ueberzeugung, dass diese scheinbar groben Versuche auf denselben, wenn nicht grösseren, Grad von Vertrauen Ansprüche machen können, welchen die Plysiologen den Erscheinungen am Rückenmark in Folge seiner Verletzungen zu schenken pflegen.

In der That

1) habe ich es nur mit solchen Vorgängen im Rückenmark zu thun,

---

[1] Die andere Hypothese kann so ausgedrückt werden: die Fortpflanzung der sensitiven Reizung, mit welcher jede Reflexerscheinung beginnt, muss als ein materieller Bewegungsvorgang betrachtet werden, und insofern muss dessen Effect, d. h. die reflectorische Bewegung, jedesmal an Intensität gewinnen, wenn die ursächliche sensitive Bewegung an Extension abnimmt. Bei der Köpfung eines Thieres ist aber das Letztere immer der Fall.

welche ganz unabhängig vom Gehirn geschehen können, und vom letzteren aus nur in gewissem Grade beeinflusst werden; und eben deswegen

2) bin ich der Meinung, dass, wenn es sich um Reflexerscheinungen im Rückenmark handelt, die Eingriffe ins Gehirn weniger bedenklich sind, als die in das Rückenmark selbst.

Das will ich an ein Paar Beispielen erläutern.

Wenn man dem Frosche die Hemisphären abschneidet, so sieht man keine merkliche Veränderung in dem äusseren Benehmen des Thieres, d. h. in allen seinen Bewegungen. Es treten dagegen tiefe Störungen der Motilität ein, wenn das Rückenmark des Frosches durchschnitten wird; das Thier liegt einige Zeit bewegungslos da. Fast dasselbe lässt sich sagen, wenn man die Einwirkung des letzteren Schnittes mit irgend welchen anderen Schnitten in das Gehirn zusammenstellt. Es folgt augenscheinlich hieraus, dass die Hirnverletzungen in Bezug auf Rückenmarksreflexe in der That weniger bedenklich sind, als operative Eingriffe in das Rückenmark selbst. Wenn also alle Physiologen ohne Ausnahme die in Folge der Köpfung des Thieres eintretenden Erscheinungen mit reinem Gewissen als Verstärkung der Reflexbewegung anerkennen, so müssen sie dasselbe Vertrauen auch den von mir beobachteten Erscheinungen schenken.

Nachdem auf diese Weise die gegen die Methode im Allgemeinen möglichen Einwände beseitigt worden sind, gehe ich zur Darstellung ihrer Einzelheiten über.

Die Existenz der Hemmungsmechanismen im Froschhirne wird auf dreifache Weise bewiesen:

1) durch Einschnitte in die Hirnmasse an verschiedenen Stellen,

2) durch chemische oder electrische Reizung verschiedener Hirntheile, und

3) durch Erregung des Gehirns auf physiologischem Wege.

In allen diesen Fällen bediente ich mich behufs der Reizung, um die zu beobachtenden Reflexbewegungen hervorzurufen, des von Türck für Frösche angegebenen Verfahrens (Ueber den Zustand der Sensibilität nach theilweiser Trennung des Rückenmarks, 1850). Es besteht bekanntlich im Eintauchen einer der hinteren Pfoten eines Frosches, welcher vertical aufgehängt ist, in eine schwache wässerige Lösung von Schwefelsäure, und in der Bestimmung der Zeitdauer, während welcher die Pfote in der Flüssigkeit ruhig liegen bleibt. Zum letzteren Zwecke bediente ich mich des Metronoms, welcher 100 Schläge per 1′ schlug. Diese Zeitdauer giebt einen Zahlenausdruck für das in einem gegebenen Falle vorhandene Reflexvermögen des Rückenmarks.

Es wäre vollkommen nutzlos, hier den Werth der Türck'schen Methode zu discutiren, da es von ihm selbst geschah, indem er eine vollkommene Uebereinstimmung der auf diese Reizungsweise erhaltenen Resultate mit denjenigen fand, welche mittelst der mechanischen Compression der Pfoten erhalten worden waren. Ich kann zu dem Gesagten nur hinzufügen, dass in meinen Versuchen diese Uebereinstimmung ebenfalls existirt, vorausgesetzt, dass das Zusammendrücken der Pfote zwischen den Fingern des Beobachters nicht plötzlich stark, sondern allmählig verstärkend geschehe. Es muss weiter in Bezug auf die Stärke der sauren Lösung bemerkt werden,

dass das Gelingen der Versuche davon in hohen Grade abhängig ist. Und das begreift sich leicht, wenn man bedenkt, dass es sich bei diesen Versuchen um eine mehr oder minder starke, und nie um eine totale Depression des Reflexvermögens handelt. Türck macht schon bei seinen Versuchen über Hyperästhäsie dieselbe Bemerkung. Es kann als Regel angenommen werden, dass die Concentration der sauren Lösung zweckentsprechend ist, wenn diese einen klar ausgesprochenen sauren Geschmack zeigt, wenn weiter in einem Vorversuch der Frosch mit transversal halbirten Hemisphären seine Pfote eine Zeit von 7 bis 20 Metronomschlägen ruhig in der Flüssigkeit liegen lässt. Dieser Versuch muss nie vernachlässigt werden.

In Bezug auf die Methode muss endlich noch gesagt werden, dass ich in allen meinen Versuchen am Frosche das Gehirn und das Rückenmark blossgelegt habe. Ich will die Möglichkeit nicht bestreiten, die Nervenmassen in einem vorausbestimmten Punkte durch die Knochendecken durchschneiden zu können, doch weiss ich aus Erfahrung, dass man unter dieser Bedingung nie sicher sein kann, dass die Durchschneidung vollkommen gelungen sei.

Indem ich jetzt zur ersten Reihe meiner Versuche am Frosche übergehe, erlaube ich mir zunächst einige Worte über das äussere Aussehen des Froschhirnes, wenn es von oben her betrachtet wird. (Fig. 1.) Diese kurze Schilderung ist für das leichtere Verständniss meiner Versuche unbedingt nothwendig.

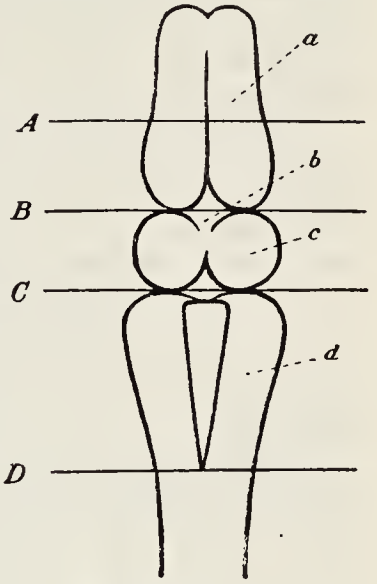


Fig. 1.
a—die Hemisphären; *b*—thal. opt.; *c*—die Vierhügel; *d*—das verläng. Mark; *A*, *B*, *C*, *D*—die Stellen der Schnitte.

Der vordere Theil der Schädelhöhle ist von den Hemisphären ausgefüllt, deren obere Fläche für einen transvers. Schnitt keinen characteristischen Punkt darbietet. Deshalb, wenn unten vom Schnitte in die Hemisphären die Rede sein wird, mag sich der Leser denselben immer so ausgeführt vorstellen, dass er die Hemisphären in zwei ungefähr gleiche Hälften theilt. Zwischen den Hemisphären und den Vierhügeln sind in einem kleinen rhomboidalen Raume die thalami optici u. gl. pineal. zusammengedrängt (nach Ecker's Icones physiologicae). Die nächstfolgenden Vierhügel sind zwei sphärische Körper, deren hintere Gränze (mit dem verlängerten Mark) sehr deutlich durch eine pigmentirte Linie markirt ist. Die obere Fläche des danach folgenden verlängerten Markes bietet für den Querschnitt nur einen einzigen constanten Punkt dar—das hintere Ende der Rautengrube.

Die Durchschnitte des Gehirns fielen also in meinen Versuchen in die Mitte der Hemisphären, in die gemeinsame Gränze seiner drei Haupttheile, und dicht hinter den vierten Ventrikel.

§ 1. Erfolge der Hirndurchschneidungen

Es müssen bei Hirndurchschneidungen zwei Momente ins Auge gefasst werden: die Entziehung der bleibenden Nervenmassen dem Einflusse derjenigen, welche durch den Schnitt entfernt worden sind, und die mechanische Reizung des Gehirns, besonders in der Nähe des Schnittes. Der erste Erfolg ist augenscheinlich dauernd, der zweite dagegen vorübergehend. Das erste Moment konnte ich nicht ausbeuten, insofern in allen meinen Versuchen die Nervencentra blossgelegt waren, und sich folglich in einer für langandauernde Beobachtungen ungünstigen Lage befanden. Die weiter unten mitzutheilenden Beobachtungen beziehen sich also nur auf die unmittelbaren Folgen der Schnitte.

Um sich eine Vorstellung über die Wirkung eines beliebigen Schnittes ins Gehirn auf das Reflexvermögen des Rückenmarks bilden zu können, muss natürlich diese Wirkung mit einem unter anderen Bedingungen bestimmten Reflexvermögen, das als Norm betrachtet werden könnte, verglichen werden. Es wäre unstreitig am natürlichsten, zu dieser Norm das bei unverletztem Gehirn bestehende Reflexvermögen des Thieres anzunehmen. Leider ist diese Grösse zu schwankend; so dass ich genöthigt war, das Reflexvermögen des Thieres nach Durchschneidung der Halbkugeln als relative Norm anzunehmen. Mit dieser Grösse werden die Erfolge aller übrigen Schnitte verglichen.

Der Versuch gestaltet sich folglich so: nachdem dem Frosche die Nervencentra blossgelegt sind, und das Thier vertical aufgehängt ist, werden die Halbkugeln quer halbirt, und gleich darauf das Reflexvermögen des Thieres einige Male hintereinander in beiden Beinen bestimmt. Hierauf wird der zu untersuchende Schnitt geführt, und wieder die Bestimmung des Reflexvermögens mittelst Säurereizung vorgenonmen. Ich kam auf diese Weise zu folgenden Resultaten:

1. *Der Schnitt in die Sehhügels* (*zwischen den Halbkugeln und den Vierhügeln*) *bewirkt eine sehr starke Depression des Reflexvermögens, welche gewöhnlich erst im Verlaufe von 5′— 10′ verschwindet.* Ich führe als Beispiel einen Versuch an, wo diese Depression die gewöhnlich zu beobachtende Stärke besitzt; dann einen anderen, wo diese Depression in Folge der zu concentrirt angewandten Säurelösung nicht beobachtet werden konnte.

Linkes Bein	Rechtes Bein
Schnitt in die Halbkugeln.	
Nach 10 Metronomschlägen eine Reflexbewegung	Nach 10 Metronomschlägen eine Reflexbewegung
Schnitt in die thalami optici.	
Nach 80 Metr.-Schl. keine	Nach 80 Metr.-Schl. keine
5 Minuten später.	
Nach 60 Metr.-Schl. Bewegungen	Nach 58 Metr.-Schl. Bewegungen
5 Minuten später.	
Nach 23 Metr.-Schl. Bewegungen	Nach 10 Metr.-Schl. Bewegungen

---

Schnitt in die Halbkugeln.	
Nach 5 Metr.-Schl. Bewegungen	Nach 5 Metr.-Schl. Bewegungen
5 » » »	» 5 » » »

Schnitt in die thalami optici.

Nach 5—6 Metr.-Schl. Bewegungen	Nach 5—6 Metr.-Schl. Bewegungenn
» 5—6 » » »	» 5—6 » » »

Ich habe mich im letzteren Falle durch einen Vorversuch überzeugt, dass der gebrauchten Säurelösung eine relativ beträchtliche Wassermenge zugesetzt werden konnte, ohne dass die Zahl 5, welche die Stärke des Reflexvermögens ausdrückt, dadurch im Mindesten geändert worden wäre. Ich wiederhole es also noch einmal: Säurelösungen, welche die Reflexbewegungen zu rasch auslösen, dürfen zu den in Rede stehenden Versuchen nicht angewandt werden.

2. *In Folge des Schnittes zwischen den Vierhügeln und der medulla oblongata nimmt das Reflexvermögen, bezogen auf das als relative Norm angenommene, immer zu. Diese Steigerung der Reflexthätigkeit entwickelt sich gewöhnlich im Verlaufe von 1′—2′.*

Schnitt in die Halbkugeln.

13	9

Schnitt zwischen Vierhügel und med. obl.

15	7
5	3
2	2

3. Der Erfolg des Schnittes hinter der Rautengrube ist in allen Beziehungen dem der vorigen Nummer gleich, *nur stellt sich hier die Steigerung des Reflexvermögens, wenn möglich, noch rascher als im vorigen Falle ein.*

Schnitt in die Halbkugeln.

32	19
17	15
16	15

Schnitt hinter die Rautengrube.

6	6
4	3
3	2

4. Alle die aufgezeichneten Erscheinungen können an einem und demselben Frosche beobachtet werden, wenn man nur der nach dem Schnitte in die thalami optici herabgesetzten Reflexthätigkeit des Thieres die zur Erholung nöthige Zeit giebt; *sonst verlängert sich dieser Zustand der Reflexdepression bis nach dem Schnitte zwischen den Vierhügeln und dem verlängerten Mark.* Es muss aber bemerkt werden, dass diese Vorsichtsmaassregel nicht nothwendig ist, wenn dem Schnitte in die thalami optici der in das verlängerte Mark hinter der Rautengrube unmittelbar nachfolgt.

Man sieht hieraus den wesentlichen Unterschied zwischen dem Effecte der letztgenannten Durchschneidung unddem Erfolge des Schnittes an der Gränze zwischen corpus quadrigeminmu und medulla oblong. Zwei nächstfolgende Versuche mögen zur Erläuterung des Gesagten dienen:

Halbirung der Hemisphären

8	7—8
9	6
11	7

Schnitt in die Hemisphären niedriger.

8	7
15	8

Schnitt in die thalami optici.

100 keine Beweg.	100 keine Beweg.

7 Minuten später.

70 keine Beweg.	70 keine Beweg.

Schnitt hinter die thalami optici.

70 keine Beweg.	70 keine Beweg.

3 Minuten später

7—8	7—8

Schnitt unter die Rautengrube

6	4—5
5—6	3—4

Nervencentra unverletzt.

38	37

Schnitt in die thalami optici.

100 keine Beweg.	100 keine Beweg.

5 Minuten später.

100 keine Beweg.	72 Reflexbeweg.

Schnitt unter die Rautengrube.

24	27

1 Minute später.

11	11

Indem diese beiden Versuche die Verhältnisse zwischen dem Schnitte an der oberen Gränze des verlängerten Markes und dem unterhalb der Rautengrube geführten ins Licht setzen, begründen sie zugleich zwei neue und wichtige Thatsachen.

5. *Die Depression des Reflexvermögens im Rückenmark in Folge der Durchschneidung der thalami optici existirt auch für den Fall, wo der Erfolg dieser Durchschneidung auf das wirklich normale Reflexvermögen (d. h. bei unverletzten Nervencentris) des Frosches bezogen wird.* Ich muss jedoch gestehen, dass dieses Resultat nicht constant ist; auf zwanzig derartige Versuche sind mir vier misslungen. Da die Zahl der negativen Resultate verhältnissmässig zu gross war, so glaubte ich diesen Umstand zuerst durch die Annahme erklären zu können, dass vielleicht die Halbirung der Hemisphären eine Steigerung des normalen Reflexvermögens mit sich führt. Directe Versuche haben aber diese Voraussetzung nicht bestätigt. Ich bekam in Folge dieses Schnittes unbedeutende Schwankungen des normalen Reflexvermögens, eben so oft nach oben als nach unten. Es bleibt mir also Nichts übrig, als den in Rede stehenden Satz nur als bedingungsweise gültig anzunehmen. Eine von den unbekannten Bedingungen dieser Erscheinung glaube ich jedoch erfasst zu haben. Sie besteht wohl in dem Experimentiren bei so niedrigen Temperaturen (6°—8° über 0°), wo die Empfindlichkeit der Froschhaut für Säure abgeschwächt ist. Unter solchen Bedingungen ist das Gelingen der Versuche kaum zu erwarten.

6. Die zweite Thatsache, welche aus den oben angeführten Versuchen hevorgeht, ist die *Gleichgültigkeit (in Bezug auf das Reflexvermögen des Rückenmarks) der Höhe, in welcher die Schnitte durch die untere Hälfte der Hemisphären geführt werden.* Directe Versuche ergaben dasselbe auch in

Bezug auf die Durchschneidungen der Halbkugeln in deren oberer Hälfte, so dass man im Allgemeinen sagen kann: *die Hemisphären scheinen keinen einzigen Punkt darzubieten, von wo aus die Durchschneidung dieser Hirntheile eine Depression des Reflexvermögens nach sich ziihen würde*[1].

7. Um die Reihe der Hirndurchschneidungen zu vervollständigen, bleibt mir nur noch der Einwirkung des Schnittes in die Substanz der Vierhügel selbst zu erwähnen übrig. *Dieselbe ist dem Erfolge des Schnittes in die thalami optici vollkommen ähnlich, man mag sie auf das normale oder das relativ normale Reflexvermögen des Thieres beziehen.*

10 Minuten nach Durchschneidung der thalami optici.

23	10

Schnitt in die Substanz der Vierhügel.

70 nichts	70 nichts

5 Minuten später.

70 nichts	70 nichts

5 Minuten später.

54 Beweg.	60 Beweg.

Hirn unverletzt.

22	17
8	11

Schnitt in die Substanz der Vierhügel.

60 nichts	60 nichts

5 Minuten später.

16 Beweg.	15 Beweg.

Wenn man nun alle die Ergebnisse der Hirndurchschneidungen zusammenstellt, so ist leicht zu ersehen, dass *die Depression des Reflexvermögens des Rückenmarks nur in Folge der Schnitte unmittelbar vor—oder in die Substanz der Vierhügel selbst zum Vorschein kommt; dass weiter der Schnitt unmittelbar hinter den Vierhügeln denselben Erfolg, aber nur bedingungsweise, nach sich zieht.*

Dieser Schluss ist natürlich nichts weiter, als ein allgemeiner Ausdruck für rohe Thatsachen. Den inneren Sinn bekommt er erst dann, wenn alle die Umstände, welche jeden einzelnen Schnitt in die Hirnsubstanz begleiten, in Bezug auf ihren möglichen Einfluss auf das Reflexvermögen des Rückenmarks erforscht werden. Ich gehe nun zur Untersuchung dieser Reihe von Fragen über.

Halbirung der Halbkugeln. Die Motilität des Thieres bleibt unverändert. Blut ng unbedeutend. In den Schnitt fällt nur ein einziger Zweig des trigeminus, welcher zum Gesichte geht (nach Ecker's Icon. physiol.).

---

[1] Bei dieser Gelegenheit muss ich zweier von mir beobachteter Fälle erwähnen, wo die Depression des Reflexvermögens nach Durchschneidung der thalami optici deswegen ausblieb, weil die Ebene des Schnittes zu weit nach vorne geneigt war. Ich brauchte in diesen zwei Fällen nur ein kleines Stück von den thal. opt. durch einen neuen Schnitt abzutragen, damit die Depression in der gewöhnlichen Stärke hervorträte.

Schnitt durch die thalami optici. Die Motilität ist gestört. Die Prostration des Thieres ist jedoch vorübergehend,—verschwindet gewöhnlich innerhalb der zwei ersten Minuten. Man beobachtet ausserdem häufig eine gewisse Steifheit in den Muskeln des Thieres nach dieser Durchschneidung. Aber auch diese Erscheinung geht schnell vorüber. Die Blutung ist stark. Folgende Nerven werden immer durchschnitten: *ram. ophthalmicus trigemini*, *trochlearis*, *oculomotorius und opticus*. Letzterer Nerv immer hinter dem chiasma.

Schnitt zwischen den Vierhügeln und dem verlängerten Mark. Die Prostration des Thieres ist viel bedeutender als im vorigen Falle und ohne Muskelsteifheit. Im Uebrigen ist dieser Fall dem vorigen vollkommen ähnlich.

Durchschneidung des Rückenmarks unterhalb der Rautengrube. Prostration sehr stark. Blutung unbedeutend. Die Hirnnerven bleiben unverletzt.

Wenn man nun diese Reihe von Thatsachen durchsieht, so ist leicht zu bemerken, dass:

a) die Depression des Reflexvermögens des Rückenmarks in keinem Zusammenhang mit der Prostration des Thieres stehen kann, insofern diese letztere gerade in solchen Fällen am stärksten ausgeprägt ist, wo die Reflexthätigkeit nicht absondern zunimmt.

b) Es ist weiter einleuchtend, dass die in Folge der Durchschneidung der thalami opt. eintretende Depression des Reflexvermögens auch durch die dabei stattfindende Muskelsteifheit nicht erklärt werden kann, insofern diese letztere Erscheinung eine viel kürzere Zeit als die Depression dauert.

c) Es wäre aber möglich, dass die uns interessirende Erscheinung ihren Grund in dem Blutverlust hätte. Die Depression der Reflexthätigkeit (absolute oder relative) tritt in der That nur in solchen Fällen ein, wo die Blutung in Folge der Schnitte am stärksten ist.

Glücklicherweise ist es leicht, diese Frage durch direkte Versuche zu beantworten. Solche Versuche wurden auch angestellt und ergaben, dass die Depression des Reflexvermögens auch von diesem Nebenumstande der Hirndurchschneidung unabhängig ist.

Es mögen als Beweise dafür zwei folgende Versuche angeführt werden. Sie unterscheiden sich dadurch von einander, dass in ihnen dem Thiere sein Blut zu verschiedenen Momenten entzogen wurde.

Hirn unverletzt.

10	10
6	7

Herz blossgelegt und durchschnitten.

13	15
15	15

Durchschneidung der thalami optici.

70 nichts	70 nichts

3 Minuten später.

22	20

Schnitt in die Halbkugeln.

31	26
27	21

Herz blossgelegt und durchschnitten.

22	13
16	11

Durchschneidung der thalami opitici.

100 nichts	100 nichts

Uebrigens wird die Unabhängigkeit der Reflexdepression von allen die Hirndurchschneidungen begleitenden Nebenumständen durch den Inhalt der zwei nächsten Paragraphen noch klarer bewiesen werden.

Es bleibt also nichts mehr übrig, als die Depression der Reflexthätigkeit entweder von der Durchschneidung der Nerven oder von der Verletzung der Hirnsubstanz selbst abzuleiten. Vorausgesetzt, dass die erste Vermuthung richtig wäre, könnte man weiter glauben, dass die ganze Erscheinung der Reflexdepression ihren Grund nur in dem Umstande finde, dass die Verletzung der sensitiven Nervenfasern dem Thiere einen so heftigen Schmerz verursache, dass es die daneben stattfindende schwächere Reizung mit Säure nicht mehr empfinde. Dann würde sich natürlich die ganze Erscheinung der Reflexdepression ganz einfach erklären lassen, ohne dass man die Existenz der Hemmungsmechanismen im Gehirne anzunehmen brauchte. Es ist aber sehr leicht zu beweisen, dass diese Erklärungsweise unhaltbar ist; denn man müsste in diesem Falle voraussetzen, dass die Durchschneidung eines Nerven dem Thiere einen Schmerz verursache, welcher häufig über 10′ dauern könne (die Zeitdauer der Reflexdepression);—eine Voraussetzung, welche entschieden falsch ist. Ich besitze ausserdem Versuche (sie sind im § 4. angegeben), im welchen die dem Thiere verursachten Schmerzen ohne Zweifel viel länger dauerten, als es für die Schmerzen in Folge der Nervendurchschneidung der Fall sein kann, und wo dennoch die Depression der Reflexthätigkeit weder so constant, noch mit solcher Intensität wie nach der Hirndurchschneidung zum Vorschein kam.

Die Schmerzen in Folge der Nervendurchschneidung sind es also nicht, welche die uns beschäftigende Erscheinung erklären können. Dasselbe lässt sich aber auch über die Schmerzen in Folge der Verletzung der Hirnsubstanz selbst sagen, obgleich wir über die Dauer der letzteren bis jetzt gar nichts wussten. Man braucht in der That nur ein Paar Durchschneidungen der thalami optici anzusehen, um dessen gewiss zu werden. 2—3 Minuten nach der Operation, also zur Zeit, wo die Depression der Reflexthätigkeit noch sehr stark ist, sieht man gewöhnlich in dem äusseren Benehmen des Thieres schon keine Spur von schmerzhaften Leiden. Der Frosch ist auch nicht abgespannt; folglich lässt sich die Unempfindlichkeit des Thieres gegen die Säure auch nicht von der Abspannung, als Folge der Schmerzen, ableiten. Die im nächsten Paragraph zu besprechenden Versuche sind noch mehr dazu geeignet, die Unabhängigkeit der Reflexdepression von der Schmerzhaftigkeit der Hirnverletzung zu begründen. Es gelingt nämlich oft, die thalami optici so schwach zu reizen, dass das Thier vollkommen ruhig bleibt, die Depression der Reflexthätigkeit aber dennoch zu Stande kommt.

Nachdem es auf diese Weise bewiesen ist, dass der Schmerz in Folge der Hirndurchschneidung die Sache nicht erklären kann, blieb mir nichts

übrig, als die Existenz solcher Mechanismen im Froschhirn anzunehmen, deren Erregung (vielleicht unmittelbar durch mechanische Verletzung des Gehirns oder auch mittelbar durch Erregung specieller Fasern in den Nerven, welche zugleich mit dem Gehirn durchschnitten werden) die Reflexthätigkeit des Rückenmarks herabzusetzen im Stande ist. Die Hypothese enthält, wie man sieht, zwei der Form nach etwas verschiedene, im Grunde aber vollkommen gleiche Ansichten über die Ursache der Reflexdepression. Beide sind folglich gleich annehmbar. Jedoch ist die Ansicht über die unmittelbare Reizung der Hemmungsmechanismen der anderen Hypothese insofern vorzuziehen, als dadurch die Lokalisation dieser Mechanismen im Froschhirne erleichtert wird. In der That nimmt vermittelst dieser Hypothese die Schlussidee, welche alle die Thatsachen der Hirndurchschneidungen resumirt, folgende Gestalt an: *Die Hemmungsmechanismem für die Reflexthätigkeit des Rückenmarkes haben beim Frosche ihrer Sitz in den Seh- und Vierhügeln, vielleicht auch im verlängerten Mark.* § 2.

Von dieser Hypothese ausgehend, lag es nahe, künstliche Erregungsmittel für die Hemmungsmechanismen anzuwenden, und ich war auf diese Weise zur chemischen Reizung verschiedener Hirntheile geführt.

§ 2. Chemische Reizung des Gehirns

Als chemischer Reiz wurde bei der vorliegenden Untersuchung ausschliesslich Kochsalz angewandt, da ich vermittelst dieser Substanz solche Resultate erhielt, welche nichts mehr zu wünschen übrig liessen. Zur schwächeren Reizung bediente ich mich der concentrirten wässerigen Lösung des Salzes, zu stärkeren wurde Kochsalz in Form von befeuchteten Krystallen angewandt.

Das operative Verfahren ist sehr einfach. Nachdem das Gehirn in einem gegebenen Punkte durchschnitten worden ist, entfernt man aus der Schädelhöhle alle die Hirntheile, welche nach vorne vom Schnitte ligen, und wartet ab, bis die Blutung still steht. Die Blutcoagula werden dann sorgfältig aus der Schädelhöhle entfernt, und der vorhandene Grad der Reflexthätigkeit auf gewöhnliche Weise bestimmt. Jetzt wird die reizende Substanz an den blossgelegten Querschnitt des Gehirns applicirt (mittelst eines kleinen Pinselchens, wenn sie in flüssiger Form angewandt wird), und die Reflexthätigkeit gleich darauf wieder bestimmt.

Ich gehe nun zu dem Befunde über:

1) Die Application des Salzes an den Hemisphärenquerschnitt bot nichts Constantes dar.

2) *Die Application des Salzes an den Querschnitt der thalami optici bringt immer eine ebenso starke Depression der Reflexthätigkeit hervor, wie die Durchschneidung des Gehirns an demselben Orte.* Diese Wirkung entwickelt sich gewöhnlich im Verlaufe der ersten Minute nach der Application des Salzes, und oft ohne dass dabei beim Thiere irgendwelche Bewegung (directe oder reflectorische) bemerkt wird. Es giebt jedenfalls Fälle, wo diese Wirkung länger auf sich warten lässt—dann ist die Application des Salzes in Form von Krystallen angezeigt. Die Depression der Reftexthätigkeit in Folge der Kochsalzwirkung verschwindet allmälig, wenn die reizende

Substanz entfernt wird (mittelst ein Paar Wassertropfen und Fliesspapier), und kann von Neuem hervorgebracht werden, wenn die nachfolgende Reizung stärker als die frühere gemacht wird. Ich besitze einen Versuch (er ist gleich unten citirt), wo es mir gelang, an einem und demselben Thiere die Depression der Reflexthätigkeit drei Mal hintereinander hervorzurufen. Es ist ferner wichtig zu bemerken, dass, wenn die erste Reizung stark war, die nachfolgende aber schwächer, die letztere nicht mehr im Stande ist, eine Wirkung auf des Reflexvermögen des Rückenmarks auszuüben. Zur Erläuterung des Gesagten mag folgender Versuch als Beispiel dienen:

Schnitt in die thalami optici.
6 Minuten nach dem Schnitte.

10	11
7	7

Applic. des Salz. in flüss. Form. Das Thier bleibt ruhig.

50 nichts	50 nichts
80 nichts	80 nichts

Salz entfernt.
5 Minuten später.

10	11

Neue Applic. des Salzes in flüssiger Form.

19	15
13	13

Salz entfernt.

11	8

Application des Salzes in Krystallen.

40 nichts	40 nichts

Convulsionen.

3) *Die Application des Salzes an den Querschnitt des Gehirns hinter den Vierhügeln, d. h. an die obere Grenze des verlängerten Marks bringt ebenfalls eine Depression der Reflexthätigkeit hervor, obgleich eine viel schwächere als im vorigen Fall.* Es muss jedoch bemerkt werden, dass die Reizung dieses Querschnittes sehr leicht Convulsionen hervorruft, wesshalb man genöthigt ist, das Gehirn an diesem Orte viel schwächer als an anderen zu reizen. Der letztere Umstand erklärt hinlänglich, warum der Effect dieser Reizung nicht selten ausbleibt.

Schnitt in die Halbkugeln.

13	9

Schnitt an der oberen Gränze des verlängerten Marks.

15	7
5	3
2	2

Salz in flüssiger Form.

10	7
9	9

Salz entfernt.

7	7
3	5

Salz in Krystallen.
Tetanus.

4) *Die Application des Kochsalzes an den Querschnitt des Rückenmarks gleich unterhalb der Rautengrube hat entschieden keinen Einfluss auf die Reflexthätigkeit dieses Organes.*

Indem man diese Reihe von Thatsachen übersieht, bemerkt man zunächst die vollkommene Identität zwischen den Resultaten der Hirndurchschneidungen und denen der Kochsalzwirkung. Es ist zweitens aus dem in 2) Gesagten klar, dass die Wirkung des Kochsalzes in nichts Anderem als in der Reizung der Hirntheile, ihr Effect also in nichts Anderem als in der Erregung dieser Nervenmassen bestehen kann. Es ist in der That möglich, die Depression der Reflexthätigkeit von einem und demselben Orte aus zwei Mal hinter einander hervorzurufen, unter der Bedingung, dass die erste Reizung schwach, dagegen die zweite stark sei. Eben so leicht ist es, das Umgekehrte zu beobachten, d. h. das Ausbleiben der Wirkung nach der zweiten Reizung, wenn diese schwächer als die erste angewandt wird. Diese Thatsachen können nun nicht anders als durch die Annahme erklärt werden, dass der Kochsalzwirkung eine Reizung der Nervenmassen zu Grunde liegt.

Auf diese Weise wird der am Schlusse des vorigen Paragraphen ausgesprochene hypothetische Gedanke zur Wahrheit, dass nämlich: *die Hemmungsmechanismen für die Reflexthätigkeit des Rückenmarks beim Frosche ihren Sitz in den Seh-und Vierhügeln und vielleicht auch im verlängerten Marke haben.* Es ist weiter leicht einzusehen, dass die Vermuthung über das Vorhandensein der Hemmungsmechanismen im verlängerten Mark durch die Resultate der Kochsalzreizung mehr an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat, als es am Ende des vorigen Paragraphen der Fall war.

§ 3. Elektrische Reizung des Gehirns

Insofern die Ergebnisse dieser Art von Reizung mit denen der chemischen vollkommen identisch sind, brauche ich hier nur das Verfahren selbst zu beschreiben, und dann einige Versuche als Beispiele anzuführen.

Die Reizung geschieht mit Inductionsströmen. Die Elektroden sind zwei feine, in eine Glasröhre eingestechte und an ihren freien Enden in Form von Häkchen umgebogene metallische Drähte. Letzteres hat zum Zweck, Verletzung des Gehirns bei der Application der Elektroden möglichst zu vermeiden. Die in jedem eizelnen Falle nöthige Stromstärke wird folgendermaassen bestimmt: sie muss an der Gränze jener Stärke liegen, wo der Strom anfängt, Bewegungen beim Thiere ausuzlösen.[1] Den Strom mehr verstärken darf man deswegen nicht, weil die Bewegungen des Thieres der Bestimmung seines Reflexvermögens hinderlich sind. Aber auch weit nach unten von der erwähnten Stromstärke kann man nicht herabsteigen, weil sich die Wirkung der Reizung dann nicht äussert. Dadurch wird leider der Umfang der wirksamen Stromstärken sehr gering, und das Gelingen der Versuche minder sicher, als bei der Kochsalzreizung. Was nun die Form des Versuches selbst anbelangt, so gestaltet er sich so: der Experimentator nimmt mit der linken Hand das Ende des Fadens, an dem das Thier vertical aufgehängt ist, und biegt den Kopf des Frosches etwa in der Weise um, dass der Unterkiefer des Thieres einen Stützpunkt auf den Fingern des Experimentators findet. In der rechten Hand hält der letztere die Elektroden, welche an dem

[1] Diese Bewegungen treten am leichtesten bei der elektrischen Reizung des oberen Querschnittes des verlängerten Markes ein; weniger leicht am Querschnitte der thal. opt. und gar nicht bei Reizung der Hemisphärenquerschnitte.

zu untersuchenden Hirnquerschnitt applicirt werden. Während dieser Zeit taucht der Gehülfe die Beine des Thieres in die Säure-Lösung. Man könnte gegen diese Verfahrungsweise einwenden, dass hier die Haut des Frosches an zwei verschiedenen Stellen zugleich gereizt wird, einmal durch Berührung des Unterkiefers mit den Fingern, und dann durch Reizung der Pfote mit Säure. Glücklicherweise ist es leicht, sich durch directe Versuche zu überzeugen, dass die Berührung des Unterkiefers keinen Einfluss auf die Resultate des Versuches hat. Dafür spricht schon das öftere Misslingen dieser Versuche: dass man nämlich oft gar keine Veränderung in den Reflexerscheinungen wahrnimmt, wo man doch eine erwarten sollte. Der Grund dieses letzteren Umstandes ist theilweise schon oben angegeben worden; hier muss noch hinzugefügt werden, dass die Intimität der Berührung zwischen den Elektroden und dem Hirnquerschnitte grossen Schwankungen unterworfen ist: entweder man befürchtet das Gehirn stark zu drücken, und die Elektroden berühren das Gehirn gar nicht; oder es schwitzen während des Versuches in die Hirnhöhle zwischen die Elektroden einige Tropfen Flüssigkeit aus, welche den Strom abschwächen, insofern sie eine Nebenschliessung für den Strom bilden.

Derjenige, welcher die Versuche wiederholen wollte, mag also durch das Gesagte auf das Misslingen derselben vorbereitet sein. und mag die Geduld nicht verlieren.

Jetzt führe ich einige Versuche als Beispiele an:

Schnitt in die thalami optici.

9	9

Elektrische Reizung.

20	42

Ruhe.

14	13

Elektrische Reizung.

60 nichts	20

Ruhe.

17	20

Elektrische Reizung.

80 nichts	58

Ruhe.

52	10

Elektrische Reizung.

Auf der linken Seite wurde keine Beobachtung mehr angestellt, weil die Reflexe zu stark deprimirt blieben

Ruhe.

»	11

Elektrische Reizung.

»	36

Ruhe.

»	30

Schnitt hinter den Vierhügeln.

8	9

Elektrische Reizung.

19	16

Ruhe.

7	11
12	13

Elektrische Reizung.

29	35

Ruhe.

24	30
24	27
13	14

Die angeführten Beispiele zeigen den gewöhnlichen Verlauf des Experiments. Ich besitze jedoch zwei Versuche, wo die elektrische Reizung des Gehirns hinter den Vierhügeln eine ungemein starke Depression der Reflexthätigkeit hervorbrachte, eine Depression, welche man nur bei Schnitten und chemischer Reizung der thalami optici zu beobachten Gelegenheit hat.

Schnitt hinter den Vierhügeln.

10

Elektrische Reizung.

40 nichts

Ruhe.

8

Elektrische Reizung.

60 nichts

Ruhe.

38

Schnitt hinter den Vierhügeln.

7

Elektrische Reizung.

40 nichts

Ruhe.

9

§ 4. Erregung des Gehirns auf physiologischen Wegen

Nachdem auf diese Weise der Hauptzweck der vorliegenden Untersuchung—die Entscheidung der Frage über das Vorhandensein der Hemmungsmechanismen im Gehirn des Frosches—erreicht worden war, war es natürlich, die physiologischen Wege aufzusuchen, auf welchen diese Mechanismen zur Thätigkeit gebracht werden können. Diese Frage wurde schon in § 1. berührt, und es wurde damals ausgesprochen, dass vielleicht die sensitiven Nervenfasern diese Erregungsbahnen bilden.

Ich kehre nun zu diesem hypothetischen Gedanken zurück, um ihn einer experimentellen Kritik zu unterwerfen. Unsere Aufgabe besteht also in der Bestimmung des Einflusses, welchen die Reizung der sensiblen Nervenfasern überhaupt auf die Reflexthätigkeit des Rückenmarks ausüben kann. Man müsste nun, damit diese Frage in ihrem ganzen Umfange entschieden werden könnte, natürlich auf alle sensiblen Nerven des Körpers einwirken. Leider ist es in einem so kleinen Thiere, wie es des Frosch ist, absolut unmöglich. Ich war deshalb genöthigt, die Reizung nur auf eine kleine Anzahl von Nerven zu beschränken, und dabei statt des Nervenstammes selbst die peripherischen Nervenausbreitungen in der Haut und in der Mundschleimhaut zu reizen.

Es ist weiter klar, dass die Aenderungen des Reflexvermögens in Folge der sensitiven Reizung zur Zeit, wo diese letztere stattfindet, nicht beobachtet werden können, weil die Reizung selbst unmittelbar mehr oder minde, starke reflectorische Bewegungen nach sich zieht. Man ist desshalb genöthigt

das Ende dieser Reflexbewegungen abzuwarten und erst dann die Beobachtungen über das Reflexvermögen anzustellen.

Es ist aus dem Gesagten klar, dass der Versuch unter solchen Beschränkungen eine mangelhafte Form annimmt:

1) kann er in der That nur die Nachwirkung der sensibelen Reizung, nicht aber den unmittelbaren Einfluss derselben auf die Reflexthätigkeit des Rückenmarks zeigen;

2) hat man Grund zu befürchten, dass die der Beobachtung vorangehenden heftigen Reflexbewegungen nicht ohne Einfuss auf. die definitiven Resultate des Versuches bleiben;

3) werden endlich durch die heftigen Reflexbewegungen in Folge der sensitiven Reizung neue Momente in den Versuch eingeführt, welche die Depression der Reflexthätigkeit, wenn eine solche bekommen wird, ganz unabhängig von der Erregung der Hemmungsmechanismen zu erklären im Stande sind. Man kann nämlich denken, dass im Falle einer starken sensitiven Reizung, wenn durch dieselbe alle Muskeln des Körpers reflectorisch erregt werden, die Einwirkung dieser Reizung, obgleich allmälig schwächer werdend, doch zur Zeit noch dauert, wo die definitive Beobachtung angestellt wird; dann würde bei der zweiten Bestimmung des Reflexvĕrmögens die schwache Einwirkung der Säure auf Nervenfasern fallen, welche sich noch im erregten Zustande befinden; der Effect dieser Reizung müsste natürlich von der Einwirkung der Säure bei der ersten Probe auf das Reflexvermögen abweichen, weil hier die Nervenfasern im normalen Zustande von der Säure getroffen werden. Die Erscheinung der Reflexdepression würde sich in diesem Falle ganz unabghängig von der Wirkung der Hemmungsmechanismen erklären lassen.

Glücklicherweise ist es sehr leicht, alle diese Einwände gegen die Methode zu beseitigen. Es ist zunächst klar, dass es für die Sache gleichgültig ist, ob die Depression der Reflexthätigkeit gleichzeitig mit der sensitiven Reizung , oder als Nachwirkung dieser letzteren erhalten wird;—das Vorhandensein der Reflexdepression ist jedenfalls ein Zeichen, dass die Hemmungsmechanismen durch Reizung der sensiblen Nervenfasern zur Thätigkeit gebracht werden können. Was nun die zwei anderen Einwände betrifft, so werden sie durch zwei folgendermaassen angestellte Versuche beseitigt. Einem Frosche wird das Rückenmark unterhalb der Rautengrube durchschnitten, und das Reflexvermögen des Thieres auf gewöhnliche Weise (mittelst der saueren Lösung) geprüft. Dann wird die Haut des Frosches (gewöhnlich die ganze Oberfläche des Bauches) mit einer erhitzten metallenen Platte, oder mit einer concentrirten Lösung von Schwefelsäure in Wasser, stark gereizt, und nachdem die dadurch hervorgerufenen heftigen Reflexbewegungen beruhigt worden sind, das Reflexvermögen des Thieres wiederum bestimmt. Man sieht in solchen Fällen nie eine Aenderung in dem Reflexvermögen des Thieres, mag die Reizung sowohl als die derselben nachfolgenden Reflexe,so stark gemacht werden, als man will. Der zweite Einwand ist also entschieden grundlos. Gegen den dritten nun spricht folgender Versuch. Dem Frosche wird das Gehirn hinter den Vierhügeln durchschnitten, dem Thiere also das Verlängerte Mark—jener Theil der Nervencentra gelassen, von welchem aus es bekanntlich am leichtesten ist, allgemeine

Bewegungen im Körper des Thieres hervorzurufen. Wird nun an diesem Thiere der eben beschriebene Versuch ebenfalls angestellt, so sind die in Folge der Hautreizung entstehenden Reflexbewegungen, wenn möglich, noch allgemeiner und heftiger als im vorigen Falle, und die Depression der Reflexthätigkeit kommt in der That zu Stande; sie ist aber weder constant, noch stark. Stark dagegen wird dieses Depression, wenn dem ebenso wie früher präparirten Thiere nicht die Haut, sondern die Mundschleimhaut mit einer concentrirten Lösung von Schwefelsäure in Wasser (beide zu gleichen Theilen) gereizt wird; obgleich hier die der Reizung unmittelbar nachfolgenden Reflexbewegungen minder heftig und viel weniger verbreitet (manchmal sind sie kaum zu bemerken) als bei dem Hautbrennen sind. Hieraus wird dem unbefangenen Leser klar, dass die Erscheinung der Reflexdepression keinesfalls in die Abhängigkeit davon gebracht werden kann, dass bei der ersten Prüfung des Reflexvermögens (vor der starken sensitiven Reizung) die Reizung auf Nerven im normalen Zustande einwirkt, nach der Haupterregung dieselben aber nur im veränderten Zustande trifft.

Die Methode kann also wirklich in dem ihr zu Grunde gelegten Sinne gebraucht und die Resultate der zwei angeführten Versuche folgender Art gedeutet werden: *das Rückenmark des Frosches enthält keine Hemmungsmechanismen für die reflectorischen Bewegungen der Extremitäten; solche sind dagegen entschieden im verlängerten Mark der Thieres vorhanden. Diese Mechanismen, insofern sie auf reflectorischem Wege zur Thätigkeit gebracht werden können, müssen ausserdem als Nervencentra, im weitesten Sinne des Wortes, angesehen werden, d. h. als Nervengebilde, welche der Umwandlung einer Art von Bewegung in die andere dienen.*

Das sind die wichtigsten Resultate, welche mir die in diesem Paragraph beschriebene Methode ergab.

Es bleibt mir jetzt noch zweier Versuche mit starker sensitiver Reizung zu erwähnen übrig, welche an unverletzten Thieren und an Fröschen mit durchschnittenen Sehhügeln angestellt worden sind. Letzterer Fall ist demjenigen vollkommen ähnlich, wo dem Thiere das verlängerte Mark unverletzt gelassen wurde; bie Depression der Reflexthätigkeit ist hier nur weniger leicht als da zu bekommen. Im Falle des unverletzten Thieres ist diese Depression dagegen gar nicht vorhanden, so dass man glauben könnte, die Hemisphären seien Gebilde, welche dem Eintreten der Reflexdepression ein Hindernis in den Weg legen. Der letzte Versuch, in Verbindung mit allen übrigen in diesem Paragraph beschriebenen, zeigt ausserdem, dass in der Erscheinung der Reflexdepression in Folge der sensitiven Hautreizung die Empfindung des Schmerzes gar keine Rolle spielen kann. Wenn das in der That der Fall wäre, so müsste man eine stärkere Depression bei unverletzten Nervencentra bekommen, als im Falle der Hirnverletzung hinter den Vierhügeln, insofern es viel natürlicher ist, das Vorhandensein des Bewustseins in den vorderen Hirntheilen als im verlängerten Mark, anzunehmen.

Auf diese Weise ist der letzte mögliche Einwand gegen die Methode beseitigt.

Ich stelle nunmehr alle die Thatsachen zusammen, welche bis jetzt am Frosche erhalten worden waren:

1) Die Hemmungsmechanismen für die Reflexthätigkeit des Rückenmarks haben ihren Sitz beim Frosche in den Seh- und Vierhügeln und in dem verlängerten Mark;

2) diese Mechanismen müssen als Nervencentra im weitesten Sinne des Wortes angesehen werden;

3) die sensiblen Nervenfasern bilden einen (wahrscheinlich den einzigen) der physiologischen Wege für die Erregung dieser Hemmungsmechanismen.

Das sind die definitiven Resultate zu welchen ich durch Versuche am Frosche gekommen bin. Zum Schlusse des Paragraphen mögen einige dahin gehörige Versuche als Beispiele angeführt werden.

Das Thier unverletzt.

22	31
35	17

Schwefelsäure in die Mundhöhle.

7—8	16
45	29

Ruhe.

23	21

Brennen der Haut.

24	20

Das Thier unverletzt.

7	7

Schwefelsäure in die Mundhöhle.

11	11
6	7
5	5

Brennen der Haut.

5	5
6	6

Schnitt in die Hemisphären.

8	10

Schwefelsäure in die Mundhöhle.

16	19
29	22

Brennen der Haut.

44	46

Schnitt in die Sehhügel.

32	24
20	25

Brennen der Haut.

34	60 nichts

Ruhe.

25	27

Brennen der Haut.

30	80

Schnitt in die Sehhügel.

7	20
15	17

Ac. sulf. in d. Mundhöhle.—Fast keine Reflexbewegung.

90 nichts	60 nichts

Ruhe.

(?)52 45
70 nichts 26

Brennen der Haut.

100 nichts 41

Schnitt unterhalb der Rautengrube.

25 21

Brennen der Haut.

14 14

Schnitt unterhalb der Vierhügel.

23 18
22 18

Acid. sulf. in die Mundhöhle.

28 70 nichts

Ruhe.

28 39

Brennen der Haut.

80 nichts 80 nichts

Ruhe.

26 31

Schnitt unterhalb des vierten Ventrikels.

13 18

Brennen der Haut.

11 10

Schnitt unterhalb der Vierhügel.

10 12

Acid. sulf. in die Mundhöhle.

46 60 nichts

Ruhe.

7 18

Es ist aus diesen Beispielen leicht einzusehen, dass das Reflexvermögen in Folge der sensitiven Reizung grosse und wechselnde Schwankungen in seiner Stärke erleidet, so dass man so zu sagen nur durch glücklichen Zufall den Augenblick trifft, wo die Reflexthätigkeit des Rückenmarks deprimirt ist.

§ 5

Jetzt, wo das Vorhandensein und die Vertheilung der Hemmungsmechanismen für die Reflexthätigkeit des Rückenmarks im Gehirne des Frosches festgestellt ist, bleiben nur noch folgende Fragen zur Beantwortung übrig:

1) über das Wesen des hemmenden Einflusses dieser Mechanismen, und

2) über die räumlichen Vorstellungen, welche man sich von der ganzen Hemmungserscheinung zu machen hat.

Was nun die erste dieser zwei Fragen betrifft, so liegt ihr folgender Ideengang zu Grunde: die Reflexthätigkeit wurde bis jetzt *in concreto* betrachtet, sie ist aber aus verschiedenen Momenten zusammengesetzt, folglich kann auch ihre Hemmung auf verschiedene Weise hervorgebracht werden. Insofern nämlich die neue physiologische Schule jede Reflexer-

scheinung in die consecutive Erregung der sensiblen Nervenfasern, der centralen Nerven-Gebilde und der motorischen Fasern zerlegt, kann man sich die Reflexhemmung auf dreifache Weise hervorgebracht denken: durch Herabsetzung der Erregung in den sensiblen Wegen, durch die erschwerte Uebertragung der sensitiven Erregung auf die motorischen Fasern und durch die Herabsetzung der Erregbarkeit dieser letzteren.

Es wäre nun nöthig, alle diese Erklärungsmomente einer experimentellen Kritik zu unterwerfen. Leider ist es nur in einem sehr geringen Grade möglich, da wir bis jetzt kein Mittel besitzen, die Thätigkeit aller drei Glieder, welche die Reflexerscheinung zusammensetzen, isolirt von einander zu untersuchen. Das Wenige, was sich hier leisten lässt, besteht in der Bestimmung des Einflusses, welchen die Reizung der Hemmungscentra auf die Erregbarkeit der motorischen Fasern und auf die Empfindlichkeit der Haut gegen die Reize ausübt. Letzteres kann natürlich nur am Menschen und nur für den Fall einer bewussten Sensibilität gemacht werden; dagegen sind die Versuche in erster Richtung auch am Frosche möglich. Sie wurden auch angestellt, müssen aber noch weiter fortgesetzt werden, da ich bis jetzt noch zu keinem festen Schluss kommen konnte. Was aber die Frage über den Einfluss der Hemmungscentra auf die Empfindlichkeit der Haut betrifft, so geht ihre Lösung von der Hypothese aus, dass der Mensch in seinem Gehirn Hemmungsmechanismen für die Reflexthätigkeit des Rückenmarks besitzt. Indem ich (zugleich mit den meisten Physiologen) diese Hypothese annehme, bestimme ich beim Menschen die normale Empfindlichkeit seiner Haut gegen eine constant gehaltene Reizung, lasse dann die Hemmungsgebilde des Menschen spielen, und untersuche während dieser Zeit wiederum die Empfindlichkeit seiner Haut. Zum Messen der letzteren bediene ich mich der Zeit von dem Eintauchen der Hand des Menschen in eine wässerige Lösung von Schwefelsäure (ungefähr 150 ccm. Schwefels, auf 2 Liter Wasser), bis zum Eintreten der Empfindung in Folge der Säurereizung. Die Erregung der Hemmungsmechanismen besteht aber in Folgendem: ein kitzlicher Mensch (nur solche können zu diesen Versuchen gebraucht werden) wird stark gekitzelt, und muss den Reflexbewegungen in Folge dieser Reizung zu widerstreben suchen, d. h. die Reflexe hemmen. Diese Versuche, so einfach sie auch erscheinen, verlangen dennoch einige Uebung in der Bestimmung des Augenblickes, wo die Empfindung eintritt. Ausserdem darf bei diesen Versuchen noch Folgendes nicht unterlassen werden: Am Anfange der Versuche muss die Hand zur Erweichung der Epidermis einige Zeit im Wasser liegen. In die sauere Lösung kommt sie aus dem Wasser immer nass, und sowie die Empfindung in Folge der Säurewirkung eintritt, lässt man die Hand sofort ins Wasser tauchen, und so lange darin halten, bis jede Spur von Empfindung verschwindet. Jetzt kann die Hand wieder in die Säure kommen. Es versteht sich weiter von selbst, das der dem Versuche unterliegende Mensch die Metronomschläge, welche die Zeit messen, wo seine Hand in der Säure bleibt, nicht hören darf. Er giebt nur ein Zeichen beim Eintauchen der Hand und beim Ausziehen derselben.

Alle diese Versuche wurden an mir selbst angestellt, und gaben folgende Resultate:

Zahl der Versuche	Ohne Kitzeln	Beim Kitzeln	
1	19, 18	27	Kitzeln stark
2	21	33	» »
3	39	47	» »
4	7, 11	17	» »
5	23	31	» »
6	23, 18	30	» »
7	35, 35	47	» »
8	9, 9, 11	15	» »
9	12	34	» »
10	12, 8, 12, 14	15	Kitzelnschwach
11	25, 18, 25	30	» »

Man sieht aus diesen Versuchen, dass, je stärker das Kitzeln, desto grösser die Depression der Hautempfindlichkeit war.

Diese Resultate, so, klar sie auch aussehen, sind dennoch von den Einwänden nicht frei. Wenn man nämlich die Art und Weise bedenkt, wie sie erhalten worden sind, so ist es zunächst klar, dass die Erscheinungen der Empfindlichkeitsdepression in unseren Versuchen ebensowohl durch Kitzelnempfindungen als durch Anstrengungen Reflexe zu überwinden bedingt werden können. Zwischen beiden Fällen giebt es aber für den Sinn der Versuche einen gewaltigen Unterschied. Einmal wird die Sache durch die Wirkung der Hemmungscentra erklärt; dass andere Mal könnte sie so ausgelegt werden: durch das Kitzeln wird beim Menschen eine sehr heftige Empfindung erweckt, und neben dieser verschwindet in seinem Bewustsein der ungleich schwächere Eindruck der Säure auf die Haut, oder er wird wenigstens schwächer als unter normalen Verhältnissen empfunden. Es ist dem Leser ohne Weiteres klar, dass, wenn das Letztere wirklich der Fall wäre, die oben angeführten Versuche für uns keinen Sinn mehr hätten.

Um die Sache zu entscheiden, war es also nöthig, neue Bedingungen in die Versuche einzuführen, indem man z. B. aus denselben entweder den einen oder den anderen Faktor, entweder die Kitzelne empfindung oder die Anstrengung gegen die Reflexe, ausschliesst.

Zuerst schien es mir leichter, die Anstrengung zu eliminiren, ich überzeugte mich aber bald, dass es zum Ziele nicht führen kann, insofern die Anstrengungen gegen die Reflexe unwillkürlich eintreten, sobald der Mensch gekizelt wird. Ich musste also den umgekehrten Weg einschlagen. Dieses geschah auf folgende Weise. Nachdem ich bei den früheren Versuchen mit dem Kitzeln bemerkt habe, dass die Anstrengungen gegen die Reflexe hauptsächlich in dem Zusammendrücken der Zähne und in einer heftigen Contraktion der Bauch- und Brustmuskeln nach vorhergehender Inspiration bestanden, wiederhole ich dieselbe Reihe von Muskelbewegungen willkürlich ohne gekitzelt zu werden, und das in dem Augenblick, wo meine in die sauere Lösung eingetauchte Hand die Wirkung der Säure zu empfinden anfängt. Sobald diese Anstrengung gemacht worden war, verschwand sofort die Empfindung und dieser Zustand der Unempfindlichkeit dauerte eben so lange, wie die Anstrengung selbst. Diesen Versuch habe ich leider nur

ein einziges Mal angestellt, weil er zu lästig und nicht gefahrlos ist. Das Verschwinden der Empfindung war jedoch in diesem einzigen Versuche so klar, dass ich keinen Augenblick schwanke, denselben als einen sicher gelingenden zu empfehlen. Ich traue dem Versuche noch aus einem anderen Grunde. Wenn man nämlich denselben in dem ihm zu Grunde gelegten Sinne anerkennt, so kann durch diesen Versuch eine alte täglich vorkommende Erfahrung erklärt werden. Es ist bekannt, dass Menschen und überhaupt alle Thiere, wenn sie schmerzhafte Operationen erleiden, dieselben Muskelanstrengungen machen, welche bei dem in Rede stehenden Versuche beschrieben worden sind; und diese complexen Muskelbewegungen folgen den Schmerzen so unfehlbar nach, dass man sie mit gewissem Recht als instinktive reflektorische Bewegungen betrachten kann. Insofern aber alle Reflexe im Thierkörper zweckmässig sind, d. h. auf das Erhalten des Körpers und das Schützen desselben gegen die feindlichen Eingriffe berechnet sind, kann man sich denken, dass die in Rede stehende complexe Muskelbewegung gegen die Schmerzen gerichtet ist, d. h. dieselben zu mildern im Stande ist.

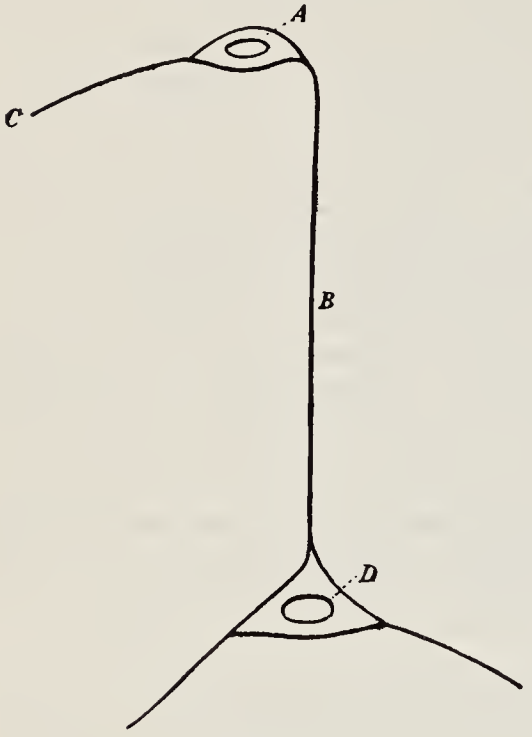
Es ist mir bewusst, dass alle in diesem Paragraph angeführten Versuche am Menschen mit allen ihren Auslegungen lauter Hypothesen sind, der unbefangene Leser wird dennoch zugeben müssen, dass diese Hypothesen nicht unnützlich sind, insofern sie nicht unwahrscheinlich sind, zur Erklärung nicht unwichtiger Thatsachen benutzt werden können, besonders aber sich dadurch empfehlen, dass sie der weiteren Entwickelung der ganzen Frage über die Reflexhemmungen im Menschen einen neuen Weg eröffnen.

Im Fall z. B. wenn alle diese Hypothesen richtig wären, könnte man aus den angeführten Versuchen am Menschen schliessen, dass die Reflexhemmung nur zum Theil in der Herabsetzung der Sensibilität bestehe, insofern diese Herabsetzung zu schwach ist, um die starke Hemmung zu erklären.

Jetzt kommt die Frage über die räumlichen Vorstellungen, die man sich über die ganze Hemmungserscheinung zu machen hat. Unsere Aufgabe besteht hier zunächst darin, zu sehen, ob alle die Einzelheiten der ganzen Erscheinung mit den räumlichen Anschauungen zusammenpassen, welche die neuere Physiologie über das Verhalten des Vagus gegen das Herz sich gebildet hat. Erst dann, wenn dieses Zusammenpassen als unmöglich erkannt wird, muss eine neue Hypothese aufgestellt werden.

Das Hemmungsgebilde des Herzens in seiner einfachsten schematischen Form ist in Figur 2. dargestellt. *A* bezeichnet eine Nervenzelle im verlängerten Mark, woraus einerseits eine Vagusfaser *B* entspringt, und worin andererseits eine sensitive Nervenfaser *C* endigt. *A* ist ein Hemmungscentrum, *B* sein hemmender Ausläufer. Letzterer endet in eine Nervenzelle *D*, wiederum mit 2 Ausläufern. *D* ist das Nervengebilde, welches die sogenannten automatischen Herzbewegungen hervorbringt. Die Haupteigenschaft dieses Mechanismus besteht darin, dass die Erregung des hemmenden Ausläufers (Vagusfaser) in allen möglichen Höhen immer eine und dieselbe Wirkung—Hemmung der Herzbewegungen—auslöst. Denselben Erfolg bekommt man auch bei der Reizung des verlängerten Markes selbst; es lässt sich aber nicht beweisen, dass hier die Hemmungscentra, und nicht die Vaguswurzeln, erregt werden. Eine weitere Eigenschaft des hemmenden Apparates für das

Herz besteht darin, dass er auf reflectorischem Wege erregt werden kann (im normalen Leben des Thieres muss sogar dieser Weg seiner Erreguug der einzige sein); wenn man z. B. dem Frosche das Rückenmark durchschneidet, so sieht man oft das Herz in Folge dessen still stehen. Das sind die Hauptcharaktere des hemmenden Gebildes des Herzens. Sehen wir nun zu, ob der uns interessirende Hemmungsapparat dieselben Eigenschaften besitzt. Was zunächst ihren anatomischen Bau betrifft, so steht der Annahme nichts entgegen, dass beide Mechanismen wesentlich identisch sind, dass nämlich in unserem Falle, wie bei dem Hemmungsgebilde des Herzens, der Apparat wesentlich aus 3 Theilen besteht; *aus centralen Nervenzellen*— Hemmungscentra im engeren Sinne des Wortes, — welche hauptsächlich in der Substanz der Seh- und Vierhügel eingelagert sind, zum Theil aber auch den oberen Theil des verlängerten Marks einnehmen; *aus den Fortsätzen dieser Zellen*, welche, in die Substanz des Rückenmarks vergraben, zu den *Zellen* hinablaufen, *welche als Verbingunsglieder zwischen den sensiblen und motorischen Fasern allgemein angesehen werden.* Dieser dritte Theil des ganzen Mechanismus wird gewöhnlich als das reflectorische Gebilde betrachtet. Somit ist die Analogie zwischen beiden Mechanismen in anatomischer Hinsicht vollkommen,—der einzige Unterschied zwischen beiden besteht darin, dass in unserem Falle derjenige Zellenausläufer, welcher der Vagusfaser entspricht, nicht frei, wie dort, zu der Reflexmaschine herabläuft, sondern in die Substanz des Rückenmarks begraben ist. Durch diesen anatomischen Unterschied kann auch vielleicht der einzige functionelle, welcher zwischen beiden Mechanismen existirt, erklärt werden,—der Unterschied nämlich, dass in unserem Falle die Reizung des hemmenden Ausläufers im oberen Theile des Rückenmarks erfolglos bleibt, die Reizung des Vagusstammes dagegen immer den Herzstillstand hervorbringt. Es taucht in neuester Zeit der Gedanke auf, dass die Nervenfasern nach ihrem Einsenken in die centralen Nervenmassen andere Eigenschaften als zuvor zeigen; und obgleich diese Idee noch weiterer Bestätigung bedarf, ist sie dennoch selbst a priori nicht unwahrscheinlich und kann folglich im Nothfalle zur Lösung eines Widerspruches, wie in unserem Falle, mit Reclht benutzt werden.

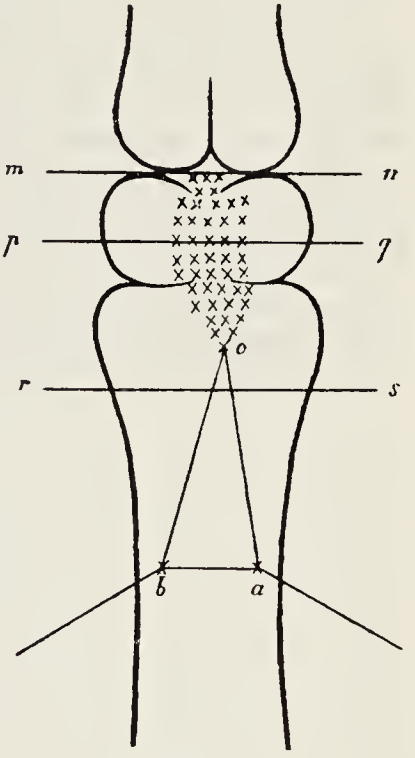


Figur 2.

Die soeben auseinandergesetzte räumliche Anschauung über den Hem-

mungsapparat für die Reflexe des Rückenmarks scheint mir die natürlichste zu sein. Es ist aber noch eine andere denkbar, und die will ich mit einigen Worten besprechen.

Die Reflexerscheinungen des unverletzten und des geköpften Thieres zeigen bekanntlich verschiedene Charaktere: im letzteren Falle ist das Reflexvermögen des Thieres gewöhnlich erhöht. Diesem Unterschiede entsprechend, kann man annehmen, dass in beiden Fallen auch die anatomischen Wege der Reflexe verschieden sind. Wenn z. B. das Verbindungsglied im Rückenmarke zwischen den sensiblen und motorischen Fasern als aus zwei Nervenzellen *a* и *b*. (Fig. 3) bestehend gedacht wird, so kann man sich vorstellen, dass der eine Weg für den Reflexvorgang durch die gerade Linie *a b* dargestellt wird, der zweite aber durch die gebrochene *a c b*. Ersterer Weg entspricht dem Falle, wo die Reflexerscheinung nur im Rückenmarke bleibt, also dem Falle beim geköpften Thiere. Der gebrochene Weg dagegen wird immer unter normalen Verhältnissen betreten. Seine Spitze *C* ist die untere Gränze der Hemmungscentra, also eine Nervenzelle im oberen Theile des verlängerten Marks. Diese Hemmungszelle, in Verbindung mit anderen mehr nach oben liegenden ertheilt durch ihre Thätigkeit dem Reflexvorgange denjenigen Charakter, welchen man am unverletzten Thiere zu beobachten pflegt. Durch diese Reihe von Annahmen lassen sich nun alle die Einzelheiten der Reflexhemmung und Reflexverstärkung ganz gut erklären. In der That gehen, so lange das Thier unverletzt bleibt, die Reflexe durch die gebrochene Linie *a c b*, und behalten ihren eigenen Charakter, d. h. die Bewegungen folgen der sensitiven Reizung nicht so rasch nach, wie beim geköpften Thiere. Dieser Charakter tritt noch mehr hervor, wenn die Hemmungscentra durch Schnitte wie *m n*, *p q*, oder auf andere Weise erregt werden. Sowie aber der Schnitt *r s* die untere Gränze der Hemmungscentra überschritten hat (oberer Theil des verlängerten Marks), wird die Bewegung des Reflexvorganges in *a c b* unmöglich, und dieser bekommt denjenigen Charakter, welcher dem Falle des geköpften Thieres entspricht, insofern jetzt die Reflexbewegung nur in der Bahn *a b* geschehen kann. Die schwache Seite dieser Hypothese besteht nur in der Annahme, dass unter normalen Verhältnissen der Reflexvorgang lieber den längeren Weg *a c b*, als den kürzeren *a b* einschlagen soll. Sonst ist sie ebenso brauchbar wie die erstere.



Figur 3.

Die Entwickelung der letzten Hypothese hat uns zu der Frage von dem Entstehen der Reflexverstärkung in Folge der Köpfung des Thieres geführt. Jetzt will ich diese Frage näher behandeln und werde zeigen, dass

die gefundenen Thatsachen zur Erklärung der Erscheinung auch in dem Falle vollkommen ausreichen, wo dem Hemmungsapparate die erste räumliche Anschauung untelegt wird. Man braucht in der That nur anzunehmen, dass im unverletzten Thiere seine Hemmungsgebilde fortwährend in einer Art tonischer Erregung begriffen sind. Dass eine leise Erregung der Hemmungscentra in der That hinreichend ist, um die Unterschiede des Reflexvermögens beim unverletzten und geköpften Thiere zu erklären, dafür sprechen die Zahlen. Im 5. Versuche des § 1. sieht man z. B., dass die Reflexstärke des unverletzten Thieres zu der des geköpften sich wie 38 : 11 verhält. Dagegen war sie bei demselben Thiere nach starker Erregung der Hemmungsmechanismen über 100. Das Einzige, was dem Gesagten zu widersprechen scheint, sind die unter 5. im § 1. als misslungen bezeichneten Versuche. Der Widerspruch ist hier aber nur scheinbar: es lässt sich in der That denken, dass in diesen vier Fällen die Bestimmung des normalen Reflexvermögens das Thier zu einem solchen Augenblick traf, wo sich seine Hemmungscentra in starker Erregung befanden. Deshalb blieb später der Effect der künstlichen Erregung dieser Centra scheinbar aus.

Die Frage über die weitere Bedeutung der von mir gefundenen Hemmungsmechanismen für das Leben des Thieres will ich jetzt nicht berühren, da die Versuche nur am Frosche angestellt worden sind.

ÜBER DIE ELEKTRISCHE UND CHEMISCHE REIZUNG DER SENSIBLEN RÜCKENMARKSNERVEN DES FROSCHES.

§ 1. Die vorliegende Untersuchung hat zunächst den Zweck, die grossen Lücken auszufüllen, welche in Betreff unserer Kenntnisse über das Verhalten der sensiblen Rückenmarksnerven des Frosches gegen die elektrische und chemische Reizung vorhanden sind. Dieses Verhalten konnte am Frosche natürlich nur aus der Wirkungsweise solcher Apparate erschlossen werden, deren Thätigkeit erstens objectiver Natur und zweitens der Beobachtung leicht zugänglich ist. Als solche Apparate eignen sich am meisten entweder die reflektorischen Mechanismen des Rückenmarks, welche die Haut mit den quergestreiften Muskeln des knöchernen Gerüstes verbinden, oder der locomotorische Apparat. Die Reizungsversuche (vom Nerven aus) an dem ersten von diesen Apparaten sind in technischer Beziehung sehr leicht, weil ein geköpfter Frosch leicht zu handhaben ist; mit dem locomotorischen Apparate verhält es sich aber anders: um seine Wirkungsweise, d. h. die Locomotionsvorgänge, mit Sicherheit beobachten zu können, darf das Thier bei den Reizungsversuchen natürlich nicht angebunden werden, unter diesen Bedingungen ist aber ein unversehrter Frosch, wegen seiner spontanen Bewegungen, sehr schwer zu handhaben. Es ist mir, wie man weiter unten sehen wird, gelungen, diese Schwierigkeit zu umgehen, und dadurch wurde mir die Möglichkeit gegeben, die Effecte der Nervenreizung an zwei verschiedenen Centralapparaten zu beobachten. Ich will damit natürlich nicht sagen, dass der locomotorische Apparat eines unversehrten Frosches und die reflektorischen Rückenmarksmechanismen eines geköpften Thieres zwei von einander vollkommen unabhängige Apparate sind—auf die Entscheidung der Frage über ihr gegenseitiges Verhältniss gehe ich in der vorliegenden Untersuchung überhaupt nicht ein;—mit der Verschiedenheit der beiden Apparate ist nur die Verschiedenheit ihrer centralen Theile gemeint; dass letztere aber wirklich existirt, wird doch Niemand bezweifeln können.

Nur in diesem Sinne muss die Sache aufgefasst werden, wenn ich in der Folge von der Verschiedenheit des locomotorischen und des reflektorischen Apparats sprechen werde.

I. ELEKTRISCHE REIZUNG SENSIBLER RÜCKENMARKSNERVEN.

§ 2. In der neueren physiologischen Litteratur existirt nur eine einzige, aber auch diese nur in einer einzigen Richtung systematisch durchgeführte, Untersuchung über das Verhalten der sensiblen Rückenmarksnerven des Fro-

sches gegen die elektrische Reizung. Dieses ist die Arbeit des Herrn Prof. Pflüger «Über die elektrischen Empfindungen» (Unters. aus d. physiol. Labor. zu Bonn. Berl. 1865). Der Verfasser hatte bekanntlich zum Zweck, das von ihm für den motorischen Nerv aufgestellte Zuckungsgesetz auch an den sensiblen Nerven zu erproben, und deshalb beschränkte er sich in der erwähnten Untersuchung auf die Wirkung der Kettenströme, vobei nur Zuckungen des (mit Strychnin vergifteten und fest angebundenen) Thieres in's Auge gefasst wurden.

Meine Zwecke sind, wie oben angedeutet, andere: ich studire vergleichend die Erregungsweise zweier Nervenapparate, des locomotorischen und des reflektorischen, unter dem Einfluss einer für beide Fälle gleichbleibenden Reihe von Reizungsarten und suche dabie die Anzahl der letzteren möglichst zu vervielfältigen. Deswegen werden in den Kreis meiner Untersuchung sowohl Ketten- als Inductionsströme hereingezogen.

Alle meine Versuche sind aus leicht ersichtlichen Gründen nur an dem N. ischiadicus und zwar unter zwei Hauptbedingungen angestelt: an Thieren mit intactem locomotorischen Apparat und an solchen, welche dessen durch Köpfung verlustig gemacht worden sind. Unter Thieren mit intactem Locomotionsapparat verstehe ich Frösche mit abgetragenen Hemisphären. Ich war zu dieser Operation durch die oben angeführten Gründe genöthigt; eine Rechtfertigung derselben finde ich aber in den folgenden Umständen; ein Frosch mit abgetragenen Hemisphären behält, so viel es sich aus den äusseren Erscheinungen bei Reizung der Haut ableiten lässt, sein Locomotionsvermögen im ungeschwächten Grade bei, reagirt auf alle schmerzerregende Einflüsse wie ein normales Thier (sogar mit dem Schreien), benimmt sich aber zugleich damit und namentlich ausserhalb der Reizung so ruhig und so regungslos (in einer sitzenden Lage), dass man an ihm alle die zur Reizung des Nerven nöthigen Manipulationen mit derselben Bequemlichkeit wie an dem motorischen Nerven eines stromprüfenden Schenkels vornehmen kann.

Somit gestalten sich die den Nervenreizungen vorangehenden blutigen Operationen folgendermassen; dem Frosche wird nach Abtragung der Hemisphären (durch einen Schnitt in die Thalami opt.), oder nach Köpfung desselben gleich unterhalb der Rautengrube, eine von den Femoralarterien möglichst hoch unterbunden[1], hierauf der N. ischiadic. herauspräparirt und in der Kniekehle durchschnitten, endlich der Oberschenkel, mit Beibehaltung eines Hautlappens zur Bedeckung der Wunde sammt zusammengerollten Nerven, möglichst hoch amputirt. Bei dieser Bedeckungsweise des Nerven habe ich gefunden,dass er an Empfindlichkeit in 24 Stunden kaum etwas verliert.

In der Folge werde ich der Kürze wegen Thiere mit abgetragenen Hemisphären als *Frösche A* und geköpfte Thiere als *Frösche B* bezeichenen. Erstere konnten frei nur in sitzender Lage untersucht werden, weil sie das Liegen aus dem Rücken nicht ertragen; für die geköpften Frösche sind dagegen beide Lagen möglich; und die mit dem Bauche nach oben ist in den Fällen

[1] Diese Operation darf nie weggelassen werden, weil eie Blutverluste einen zu grossen Einfluss auf die Erregbarkeit der Nervencentra ausüben.

unentbehrlich, wo man reflektorische Bewegungen in den vorderen Extremitaten beobachten will. Es muss weiter notirt wer den, dass für din Erholung der Thiere nach Beendigung der blutigen Operationen eine Ruhe von 5′—10′ einerseits unentbehrlich, andererseits vollkommen ausreichend ist. Die Reizung des Nerven wurde in allen meinen Versuchen gewöhnlich nach Ablauf dieses Zeitraums sogleich vorgenommen. Endlich hebe ich den Umstand hervor, dass ich mich ausschliesslich der R. esculenta und zwar nur frisch gefangener und kräftiger Individuen bediente.

Zum Schlusse dieser einleitenden Betrachtungen erlaube ich mir noch einige Bemerkungen in Betreff der Schwierigkeiten, welche die gleich mitzutheilenden Versuche in Vergleich mit den analogen Versuchen an dem motorischen Nerven darbieten. In einem stromprüfenden Schenkel ist der Effect einer gegebenen Nervenreizung wesentlich nur von drei Momenten abhängig: von der Beschaffenheit der Reizung selbst, von der Erregbarkeit der gereizten Nervenstrecke und von der Reizbarkeit des Muskels. Alle diese Factoren stehen so zu sagen in der Gewalt des Beobachters, insofern er dieselben in jedem Angenblicke gesondert von einander prüfen kann. Nicht so bei den Apparaten, mit denen wir jetzt zu thun haben: hier sind erstens die Bedingungen eines gegebenen Effectes um vieles complicirter, zweitens aber sind die centralen Theile unserer Apparate dem Beobachter gar nicht, oder nur in einer höchst unvollkommenen Weise zugänglich. Zieht man dieses in Betracht, so wird man begreiflich finden, dass die zunächst mitzutheilenden Resultate (und dieses gilt besonders für die Effecte schwächerer Reizungen) keineswegs dieselbe Constanz wie die entsprechenden Erscheinungen an dem stromprüfenden Schenkel darbieten können.—Sie sind nur aus einer grossen Anzahl von Versuchen ableitbar.

Wirkung der Kettenströme

Reizungsapparat: wechselnde Anzahl von Chromsäure-Kohle-Elemente; unpolarisirbare Elektroden; flüssiger Rheostat und Stromumwender.

Zuvörderst muss erwähnt werden, dass so oft ich die Gelegenheit hatte diejenige Seite der Erscheinungen in's Auge zu fassen, welche auf das Pflüger'sche Zuckungsgesetz zurückgeführt werden muss, ich immer die Angaben des Herrn Prof. Pflüger, welche in seiner vorher erwähnten Untersuchung enthalten sind, bestätigt fand.

§ 3. Die erste Wirkung schwacher Kettenströme äussert sich sowohl an Fröschen *A* als an Fröschen *B* in Form sehr leichter und kurz andauernder Schliessungszuckungen. Der Effect tritt (bei Fröschen *B* etwas früher als bei Fröschen *A*) schon bei solchen Stromstärken ein, welche an dem stromprüfenden Schenkel den Pfluger'schen Tetanus geben, wenn sie dem motorischen Nerven in absteigender Richtung applicirt werden. Am leichtesten zucken reflektorisch (und diese Reihenfolge bleibt fur Frösche *A* und *B* dieselbe) die Reste der amputirten Femoralmuskeln, ihnen folgen die Muskeln der vorderen Extremität der gereizten Seite, dann diejenigen der intacten hinteren Extremität, am schwersten erregbar sind die Muskeln per vorderen Extremität, welche gekreuzt mit dem gereizten N. ischiad. ilegt.

Vergleicht man an einem und demselben Frosche die minimalen Stromstärken, welche überhaupt für das Zustandekommen einer reflektorischen Zuckung und für die Erregung des motorischen Nerven (ein vom Rückenmark abgetrennter und im Plexustheile gereizter N. ischiad.) erforderlich sind, so erweist sich der motorische Nerv im allgemeinen empfindlicher als der sensible. Dieses geht schon daraus hervor, dass man keine reflektorische Zuckung vom N. ischiad. aus durch das Anlegen desselben auf einen Längs- und Querschnitt des Muskels erhalten kann.

§ 4. Verstärkt man den polarisirenden Strom über die Gränze hinaus, welche den motorischen Nerv tetanisirt, und schliesst ihn abermals, so treten anstatt Zuckungen folgende Erscheinungen ein: Frösche *A* machen einen Sprung, bei Fröschen *B* (diese müssen auf den Rücken gelegt werden) bekommt man reflektorische Bewegungen der ganzen Extremitäten (am stärksten in der vorderen Extremität der gereizten Seite) zu sehen. Diese Bewegungen haben entschieden einen tetanischen Charakter und dauern gewöhnlich einge Secunden fort.

§ 5. Schliessungen und Oeffnungen stärkerer Ströme (bis über die Gränze der starken Ströme im Sinne des Pflüger'schen Zuckungsgesetzes) bringen nichts neues mehr hervor. Nur eines fällt in die Augen, und namentlich an Fröschen *B*: ihre reflektorischen Schliessungs-resp. Oeffnungsbewegungen werden mit dem Anwachsen des polarisirenden Stromes bis zu einem gewissen Grade stärker, dafür aber weniger tetanisch, als die in dem vorigen § beschriebenen entsprechenden Bewegungen.

§ 6. Lässt man den polarisirenden Strom von Null an allmälig anschwellen, ohne ihn zu unterbrechen, so kann man bis zu ansehnlichen Stromstärken hinaufkommen, ohne eine Spur von Bewegung (sowohl an Fröschen *A* als an Thieren *B*) zu sehen.

Diese Erscheinung stimmt einerseits mit dem du Bois'schen Grundgestze der elektrischen Erregung des motorischen Nerven überein; sie weist aber zugleich auf einen grossen Unterschied zwischen dem stromprüfenden Schenkel und den reflektorischen Apparaten hin, insofern man an den letzteren eine dem Pflüger'schen Tetanus entsprechende Erscheinung vermisst.

Der wirkliche Thatbestand hierbei ist meiner Ansicht nach folgender: das Ausbleiben eines reflektorischen Pflüger'schen Tetanus beim schwachen Polarisiren des sensiblen Nerven wird nur durch Reizbarkeitsänderungen herbeigeführt, welche innerhalb der reflektorischen Apparate bei jeder noch so schwachen, aber einige Zeit ununterbrochen andauernden Erregung derselben vom Nerven aus entstehen.

Die Beweise hierfür sehe ich einerseits in den Andeutungen der Existenz einer dem Pflüger'schen Tetanus entsprechenden reflektorischen Erscheinung, welche in dem Verhalten des sensiblen Nerven gegen schwache und mittelstarke Sröme enthalten sind (s. §§ 4 u. 5); andererseits in einer eigentümlich raschem Abnahme der Fähigkeit des sensiblen Nerven die Schwankungen des polarisirenden Stromes mit excitomotorischen Effecten zu beantworten, wenn die Wirkung des Stromes längere Zeit gedauert hat. Man schicke durch den Nerven eines Frosches *B* einen beliebig starken Strom in beliebiger Richtung und unterbreche ihn von Minute zu Minute (eine jede Unterbrechung und die darauf folgende Schliessung müssen von einander durch eine

Pause von einigen Secunden getrennt sein); man wird hierbei ganz gewiss finden, dass wenn die erste Schliessungs- oder Oeffnungsbewegung stark war, die zweite entsprechende Bewegung schon als eine schwache zu benennen ist, die dritte noch schwächer u. s. w.

Diese Erscheinungen erklären sich zum grössten Theil aus dem bekannten Rosenthal'schen Gesetz über die Modification der Erregbarkeit der Nerven (sowohl des motorischen als des sensiblen) unter dem Einflusse der Kettenströme; ich glaube aber, dass hierbei noch andere Momente eine Rolle spielen müssen, weil die Abnahme der Erregbarkeit unter übrigen gleichen Bedingungen in dem reflektorischen Apparate eine viel raschere ist, als die entsprechende Erscheinung in den Nerven eines stromprüfenden Schenkels.

§ 7. Durch die Einwirkung auf den sensiblen Nerv der Frösche *A* und *B* einer Reihe von rasch auf einander folgenden Unterbrechungen und Schliessungen eines Kettenstromes kommen neue Erscheinungen zu Stande. Sie bestehen erstens in der Steigerung der Reizbarkeit unserer Apparate und zweitens in der Summirung der Effecte einzelner Erregungen. Beides lässt sich besonders schön an Fröschen *B* zeigen, indem man ihre Nerven mit solchen Strömen behandelt, welche den reflektorischen Apparat bei einzelnen Schliessungen und Oeffnungen in Ruhe lassen. Unterbricht man solche Ströme beispielsweise 60 Mal in 1 Minute, so tritt nach einigen Unterbrechungen die erste Zuckung noch schwach und in einer beschränkten Anzahl von Muskeln ein; die zweite, dritte u. s. w. werden immer stärker und ausgebreiteter, bis endlich eine Bewegung der ganzen Extremität zu Stande kommt; aber auch jetzt sieht man dennoch oft eine jede Stromesschwankung durch eine Zuckung der in der Bewegung begriffenen Extremität beantwortet. An den Fröschen *A* hat die Erscheinung folgende Gestalt: wenn einzelne Schliessungen und Oeffnungen das Thier in Ruhe lassen, so vermag eine rasch aufeinander folgende Reihe derselben dasselbe Thier in Flucht zu versetzen.

Die Gränze der Summirung der Effecte einzelner Schläge in der Zeit (d. h. wie oft die Schläge einer gegebenen Stärke und Richtung auf einander folgen müssen, damit überhaupt eine Summirung ihrer Effecte stattfinde) lässt sich an unseren Apparaten nicht mit solcher Genauigkeit bestimmen, wie es von v. Bezold für Vagus und Herz gemacht worden ist; jedenfalls sind Frösche *A* dazu geeigneter als Frösche *B*, weil das Moment des Entstehens des Thieres schärfer hervortritt, als das Zusammenfliessen einzelner Zuckungen in die Bewegung der ganzen Extremität. Von den wenigen Versuchen, die ich in dieser Richtung anstellte, mag folgender als ein extremer Fall gelten:

Schwacher aufsteigender Strom, dessen einzelne Schliessungen und Oeffnungen den Frosch *A* in Ruhe lassen; der in die Kette als Stromunterbrecher eingeschaltete Metronom schlägt 26 Mal in 1 Minute, giebt also 13 Schliessungen und ebensoviel Oeffnungen in 1 Minute.

Bei der ersten Probe entfloh das Thier nach 22 Schlägen; bei der zweiten nach 28; bei der dritten nach 26; bei der vierten nach 32 Schlägen.

Uebrigens müssen diese Versuche weiter fortgesetzt werden, und verdienen es auch, weil man auf diesem Wege vielleicht ein Messungsverfahren aus-

arbeiten kann für das Vermögen der Nervencentra einzelne Erregungen zu summiren.

Verstärkung des Stromes oder Vermehrung der Anzahl der Unterbrechungen lässt den Erfolg, unter anderen gleichen Bedingungen, natürlich rascher eintreten. Was den maximalen Effect einer gegebenen Reihe von elektrischen Schlägen betrifft, und als solchen sollte man a priori einen reflektorischen Tetanus des ganzen Körpers erwarten, so siehe hierüber die §§ 13 u. 14.

§ 8. Die letzte Erscheinung, welche man beim Polarisiren des sensiblen Nerven zu beobachten hat, bezieht sich auf die Empfindlichkeit der Haut. Sie ist übrigens nur an Fröschen *A* und zwar nur unter dem Einflusse starker Ströme (im Sinne des Pflüger'schen Zuckungsgesetzes) vollkommen klar ausgesprochen. Unter diesen Bedingungen tritt sie aber sogleich nach der Schliessung des Stromes ein und besteht in einer Abnahme der Hautempfindlichkeit in allen Pfoten für das Kneifen mit der Pincette. Diesen Versuch macht man am bequemsten so: dem Frosche *A* werden beide N. ischiad. herauspräparirt und beide Oberschenkeln amputirt; in dieser Form lässt sich das Thier zum ruhigen Liegen auf dem Rücken leicht zwingen, dennoch muss es bei Schliessung des Stromes einige Augenblicke gehalten werden. Man constatirt die erwähnte Erscheinung, indem man die vorderen Pfoten vor und während der Einwirkung des Stromes kneift. Ueber die Bedeutung dieser Thatsache kann erst unten gesprochen werden, hier will ich nur folgendes bemerken: es darf Niemand glauben, dass diese Erscheinung etwa in Folge einer Fortpflanzung des elektrotonischen Zustandes auf das Rückenmark und der dadurch bedingten Reizbarkeitsabnahme des letzteren entstanden sei,—es spricht ja dagegen erstens das Ausbleiben (oder wenigstens ein viel schwächeres Auftreten) der Erscheinung in den geköpften Thieren, zweitens aber die grössere Wirksamkeit (in Bezug auf die Depression der Hautempfindlichkeit) der aufsteigend gerichteten Ströme im Vergleich mit den absteigenden.

Wirkung den Inductionsströme

§ 9. In Anbetracht der grossen Empfindlichkeit des locomotorischen und des reflektorischen Apparates gegen die Schliessungen eines schwachen Kettenstromes,—einer Empfindlichkeit, welche derjenigen eines motorischen Nerven beinahe gleich kommt,—ist man erstaunt über die grosse Unempfindlichkeit der sensiblen Nerven gegen einzelne Inducrtionsschläge. An den frisch präparirten Fröschen *A* und *B*[1] erweisen sich oft noch als unwirksam Inductionsschläge von solchen Stärken, welche beim spielenden Hammer ein starkes Kitzeln in der Zungenspitze hervorrufen. Diese Thatsache kann nur in dem Sinne gedeutet werden, dass die centralen Theile unserer Apparate (d. i. die locomotorischen und die reflektorischen Centra) bei wei-

[1] Mit der Zeit, und namentlich 2—3 Stunden nach der Operation, entwickelt sich allmählig, sowohl in Fröschen *A* als in Thieren *B*, ein (wahrscheinlich pathologischer) Zustand gesteigerter Reizbarkeit, welcher bis über 12 Stunden (wahrscheinlich noch länger) anhält. In diesem Zustande eignen sich die Frösche *A* sehr gut für die Demonstration der reflektorischen Zuckungen, indem man ihre sensiblen Nerven mit einzelnen Inductionsschlägen behandelt. Sie springen so zu sagen bei jedem Schlage in die Höhe, ohne die sitzende Lage aufzugeben.

tem nicht so labil wie die Muskeln sind. Die erste Wirkung einzelner Inductionsschläge tritt gewöhnlich (aber nicht immer) in Form von reflektorischen Zuckungen auf. Bei stärkeren Schlägen verwandeln sich die letzteren in Sprünge bei Fröschen *A* und in reflektorische Bewegungen in Thieren *B*.

§ 10. Die Summirung der Effecte einzelner Schläge ist natürlich ebenfalls vorhanden. Mittelst eines Inductionsapparates lässt sich diese Erscheinung (besonders an Fröschen *A*) sogar sehr eclatant zeigen, indem man erst die obere Gränze der Stromstärken aufsucht, bei welchen einzelne Schläge das Thier noch ruhig lassen und hierauf beim spielenden Hammer die niedrigsten Stromstärken bestimmt, welche das Thier zu erregen anfangen. Es erweist sich alsdann ein sehr grosser Unterscheid in den Abständen der secundären Spirale von der primären, weil der gegen die einzelnen Inductionsschläge so unempfindliche sensible Nerv gegen eine Reihe derselben fast dieselbe Empfindlichkeit wie der motorische zeigt.

§ 11. Die Erscheinungen, zu deren Beschreibung ich jetzt übergehe, sind Producte einer fortgesetzten Reizung des sensiblen Nerven (bei Fröschen *A* und *B*) mit abwechselnd gerichteten Inductionsströmen. Diese Erscheinungen sind leider so complicirt und in ihrem äusseren Charakter in so hohem Grade veränderlich, dass man zur Zeit an eine esrchöpfende Beschreibung, geschweige die Analyse, derselben nicht denken kann. Jch betrachte schon als Glück, dass es mir nach vielen Mühen gelang, einige Momente dieser Erscheinungen zu fixiren. Somit mag das nächstfolgende als erster Schritt in der Bearbeitung des schwierigen Gegenstandes gelten.

Es ist zunächst leicht zu constatiren, dass der äussere Charakter der Erscheinungen, sowohl in Fröschen *A*, als in Thieren *B* im höchsten Grade von der Reizungsstärke abhängig ist; folglich müssen zu allererst die Reizungsstärken festgestellt werden, bei welchen die Erscheinungen *constant* eine typische Aenderung in ihrem äusseren Charakter erleiden. Diese Stromstärken bleiben glücklicherweise für je zwei entsprechende Aenderungen an den Fröschen *A* und *B* einander gleich; somit gilt die nächstfolgende Beschreibung derselben für beide Fälle zugleich.

Schwache Reizung wird durch Ströme hervorgebracht, welche die beiden Apparate (vom sensiblen Nerven aus) zu erregen beginnen.

Die untere Gränze der *starken Reizung* ist durch Ströme gegeben, welche, wenn sie der Zungenspitze des Beobachters applicirt werden, ein starkes aber noch nicht schmerzhaftes Kitzeln in derselben erregen.[1] Die obere Gränze der starken Reizung ist nur durch die anwachsende Möglichkeit des Entstehens der Stromesschleifen und der unipolaren Erregungen beschränkt.

Mittellstarke Reizung liegt natürlich zwischen den beiden früheren. Die ihr zukommenden charakteristischen Erfolge fallen jedoch nicht auf die Stromstärken, welche in der Mitte zwischen den beiden Extremen liegen, sondern rücken den schwachen Strömen viel näher. Es versteht sich übri-

[1] Diese Stromstärken werden bekanntlich bei Reizung des Vagusstammes (sowohl in centripetaler als in centrifugaler Richtung) zur raschen Erzielung des maximalen Effectes der Reizung angewandt.

gens von selbst, dass bei einer allmäligen Verstärkung der mittelstarken Reizung die Effecte derselben allmälig in die einer starken Reizung übergehen müssen.

Ich beginne mit den Erscheinungen an Fröschen *B*. Das bequemste Object für die Versuche bietet ein unterhalb der Rautengrube geköpftes Thier mit den beiderseits herauspräparirten N. ischiad. dar; ein solches Thier wird in die Rückenlage (mit dem Bauche nach oben) gebracht und durch zwei Nadeln (die eine an der Maulspitze, die andere in der Gegend des Afters) in derselben fixirt; die vorderen Extremitäten bleiben dadurch vollkommen frei und können leicht beobachtet werden.

a) *Schwache Reizung* gibt sogleich nach dem Beginne entweder eine einzige flüchtige Bewegung der beiden vorderen Extremitäten, oder eine solche Bewegung mit einer nachfolgenden Reihe von kleinen zitternden Zuckungen, welche einige Secunden lang anhalten; hierauf tritt Ruhe ein, die Reizung mag so lange fortgesetzt werden wie man will. Die Bewegung besteht gewöhnlich in einer Streckung der Extremitäten in der Richtung zu den Hinterbeinen hin.

b) *Mittelstarke Reizung* gibt sogleich nach dem Beginne eine starke Bewegung der beiden vorderen Extremitäten, welche gewöhnlich in derselben Richtung erfolgt wie im vorigen Falle; manchmal contrahiren sich aber zugleich mit den Herabziehern der vorderen Extremitäten deren Antagonisten die Heber, dann bekommt die gestreckte Extremität eine zum Horizont geneigte Stellung. Die Bewegung hat jetzt entschieden einen tetanischen Charakter; sie dauert dennoch bei fortgesetzter Reizung nur kurze Zeit fort (einige Secunden), um wie im vorigen Falle einer absoluten Ruhe Platz zu geben. Dauert die Reizung nichtsdestoweniger weiter, so sieht man nach Verlauf einiger Zeit (manchmal sogar nach Verlauf von 1—2 Min.) einen Bewegungszustand eintreten, welchen ich, seinem äusseren Aussehen nach, als ein Hineinbrechen einer tetanischen Welle in den Körper des Frosches charakterisiren möchte. Diese Welle beginnt gewöhnlich an den Resten der Femoralmuskeln der gereizten Seite, pflanzt sich von hier aus zunächst auf die Bauchmuskeln und endlich auf die vorderen Extremitäten fort. Hier angelangt, erregt sie manchmal erst die Heber der Extremitäten, öfter ihre Antagonisten, oder beide Muskelgruppen zugleich, endet aber immer in Form eines starken und andauernden Strecktetanus (alle möglichen Variationen in der gegenseitigen Stellung der Extremitäten aufzuzählen, halte ich vorläufig für überflüssig). Bis zu diesem Punkte haben die Effecte der mittelstarken Reizung an allen Fröschen *B* einen und denselben Charakter, und insofern bildet die beschriebene Reihe von Erscheinungen den am meisten charakteristischen Erfolg der mittelstarken Reizung. Wird diese letztere über den zweiten Strecktetanus hinaus fortgesetzt, so kommen bei vielen besonders reizbaren Fröschen neue Bewegungen zu Stande. Diese haben wiederum einen intermittirenden Charakter, die Abwechselung zwischen Ruhe und Bewegung ist aber jetzt eine höchst ordnungslose geworden; zudem wechselt die Stellung der Extremitäten zwischen Hebung und Streckung auf das mannigfaltigste. In der Folge werde ich den Effect einer mittelstarken Reizung, in Bezug auf die vorderen Extremitäten, als nur aus zwei Bewegungsphasen bestehend betrachten; dieses geschieht aber nur

der Bequemlichkeit wegen—der wirkliche Erfolg unserer Reizung besteht in einer intermittirenden Reihe von Bewegungen, deren einzelne Phasen nur im Anfange der Erscheinung einen regelmässigen Charakter tragen.

Wird der sensible Nerv stärker gereizt, aber mit Stromstärken, welche noch innerhalb der Gränzen der mittelstarken Reizung liegen, so verschmälert sich das Ruheintervall zwischen den beiden Bewegungsphasen bis zum völligen Verschwinden. Uebrigens behalten die letzteren noch ihren früheren Charakter, was die Richtung der Bewegung und die gegenseitige Stärke der beiden Phasen anbelangt. Ein neues Moment taucht dennoch hierbei auf: je stärker der Nerv gereizt wird, desto sicherer sieht man im Beginn der zweiten Bewegungsphase eine tetanische Hebung der Arme dem Strecktetanus vorangehen. Bedenkt man, dass in der ersten Bewegungsphase die beiden antagonistischen Muskelgruppen immer zugleich erregt werden, und dass es in der zweiten Phase, besonders bei einer stärkeren Reizung, nicht mehr der Fall ist, so muss daraus natürlich der Schluss gezogen werden, dass überhaupt eine verstärkte Nervenreizung Bedingungen zum getrennten Auftreten der Thätigkeit der beiden antagonistischen Muskelgruppen mit sich führt.

c) Bei *starker Reizung* des sensiblen Nerven wird die erste Bewegugsphase sozusagen übergangen. Anstatt ihrer bekommt man entweder eine höchst unbedeutende und flüchtige Bewegung in den Extremitäten mit nachfolgender Ruhe (im ganzen Körper) von einigen Secunden, oder ein sofortiges Auftreten der zweiten Bewegungsphase in Form einer tetanischen Hebung der Extremitäten mit nachfolgendem Strecktetanus. Dass die erste Bewegungsphase durch starke Reizung des Nerven wirklich unterdrückt wird und nicht etwa deshalb und nur scheinbar verschwindet, weil sie den äusseren Charakter der zweiten Bewegungsphase annimmt, überzeugt man sich sehr leicht durch folgenden Versuch: wird die Reizung des Nerven im Anfange der Ruheperiode unterbrochen, so bekommt man immer als eine Nachwirkung eine mehr oder minder klar ausgesprochene tetanische (manchmal eine sogar sehr starke) Streckung der Arme nach unten. Uebrigens wird die Richtigkeit dieser Auffassungsweise später noch viel schärfer bewiesen (s. die in *ć* dargebrachten Thatsachen). Hier will ich nur bemerken, dass die geschilderte Reihe von Erscheinungen für alle möglichen Grade der starken Reizung wesentlich dieselbe bleibt, indem man im Anfange der Reizung immer eine fast völlige Unterdrückung der ersten Bewegungsphase und hierauf ein mehr oder weniger schnelleres Auftreten der zweiten zu sehen bekommt.

Die starke Reizung des sensiblen Nerven ist stets, und namentlich sogleich nach Beginn der Reizung, mit einer sehr starken Schwächung der Hautempfindlichkeit der Pfoten gegen das Kneifen verbunden. Dieses Phänomen wird in den späteren Reizungsstadien fast immer vermisst. Sicher ist es aber, dass nach dem Ablaufe der Bewegungsperiode, wenn die Reizung nicht weiter fortgesetzt wird, die Hautempfindlichkeit sehr bald wieder zurückkehrt.

Die entsprechenden reflektorischen Erscheinungen an der hinteren Extremität eines zwischen dem dritten und vierten (auch zwischen dem vierten und fünften) Wirbel geköpften Thieres wurden ebenfalls beobachtet. Hier sind sie noch complicirter als an dem vorigen Objecte, weil die Bewegun-

gen in einer viel rascheren Reihe auf einander folgen. Stellt man jedoch viele Versuche an, so gelangt man zur völligen Ueberzeugung, dass auch hier der Gang der Erscheinungen im Wesentlichen derselbe ist wie im vorigen Falle.

Sitzt der Frosch (welcher bei allen diesen Versuchen mit der Hand gehalten werden muss) mit zugezogener hinterer Extremität, so bewirkt die schwächste Reizung des N. ischiad. der anderen Seite gewöhnlich nur eine einzige Streckung des Beines. Mittelstarke Reizung gibt im Beginne dasselbe; die auf die Streckung folgende kurze Ruheperiode geht aber jetzt in eine ganze Reihe von periodisch wiederkehrenden Flexionen und Streckungen des Beines über. Bei einigen Thieren besteht diese zweite Bewegungsphase nur aus einer einzigen Flexion und Streckung, bei anderen aus vielen solchen Perioden; im letzteren Falle weiderholen sich bei fortgesetzter Reizung die Perioden immer öfter und öfter und gehen zuletzt in eine andauernde tetanische Streckung des Beines über. Dieser Tetanus ist übrigens das unvermeidliche Endglied der Erscheinungen bei jeder mittelstarken Reizung unseres Objectes. Starke Reizung gibt im Anfang schwache Bewegung (manchmal bleibt die Streckung auf halbem Wege stehen), darauf Ruhe mit zitternden Zuckungen, zuletzt schwache Andeutungen der zweiten Bewegungsphase und einen Endtetanus. Die Erschöpfung des reflektorischen Apparats tritt jedoch an diesem Objecte gewöhnlich viel früher, als an dem vorherigen ein und in Folge dessen kann bei starker Reizung der Endtetanus vollkommen ausbleiben.

Vergleicht man beide Fälle untereinander, so trifft man dieselben Momente in beiden Reihen von Erscheinungen: *a*) eine einzige Bewegung— für schwache Reizung; *b*) eine intermittirende Reihe von Bewegungen— für mittelstarke Reizung; *c*) fast völlige Vernichtung der ersten Bewegungsphase und das Bestehen der zweiten für die starke Reizung.

Die Versuche an Thieren *A* wurden in zwei verschiedenen Formen angestellt: zunächst, der Analogie halber mit den äusseren Bedingungen der Versuche *a*, *b* und *c*, an Fröschen mit heiderseits amputirten hinteren Extremitäten (diese Thiere wurden mittelst Nadeln in einer Rückenlage fixirt); dann an frei sitzenden Fröschen *A*, denen nur ein N. ischiad. herauspräparirt und nur eine der hinteren Extremitäten amputirt war.

Die erste Reihe von Versuchen ergab Folgendes: der allgemeine Gang der Erscheinungen bleibt derselbe wie an den Fröschen *B*, insofern auch hier schwache Reizung nur eine Bewegungsphase zur Folge hat, die mittelstarke—zwei solche Phasen mit Iinem Jntervall von Ruhe, die starke—das Fortbestehen der zweiten Bewegungsphase mit einer Unterdrückung der ersten; zugleich damit kommen aber auch sehr grosse Unterschiede vor.

1) Die erste Bewegungsphhase bei schwacher und mittelstarker Reizung besteht aus einer ganzen Reihe von Bewegungen, welche abwechselnd alle möglichen Richtungen einschlagen (eine Folge der Erregung der locomotorischen Centra); einige von diesen Bewegungen haben bei der mittelstarken Reizung einen vorübergehend tetanischen Charakter.

2) Der Strecktetanus der zweiten Bewegungspase ist zwar vorhanden, aber auch dieser wird von Zeit zu Zeit durch anders gestaetete Bewegungen unterbrochen.

3) Eine Unterbrechung der starken Reizung im Anfange der Ruheperiode hat nicht einen Strecktetanus, sondern eine locomotorische Reihe von Bewegungen zur Folge.

4) Die Hautempfindlichkeit der Pfoten wird schon durch eine mittelstarke Reizung des Nerven sehr stark deprimirt.

Der allgemeine Gang der Erscheinungen bleibt auch an den frei sitzenden Fröschen *A* derselbe; er bekommt aber jetzt eine ganz eigenthümliche Physiognomie.

a') Schwache Reizung löst einen Sprung aus. Wird das Thier im Beginne der Reizung mit der Hand gehalten, so spürt man seine Versuche zum Entfliehen nur in den ersten Augenbeicken.

b') Mittelstarke Reizung wirkt im Anfange wie die vorige. Wird das Thier gehalten, so überzeugt man sich leicht, dass es jetzt im Allgemeinen anhaltendere und stärkere Anstrengungen zum Entfliehen macht; diese Bewegungen verschwinden jedoch einigen Secunden gänzlich (jetzt bleibt das Thier ungeachtet der fortdauernden Reizung ruhig sitzen, wenn es auch frei gelassen wird), um einer Ruheperiode Platz zu geben. Während dieser Zeit kann man sich leicht in einer fast völligen Unterdrückung der Hautsensibilität in allen Pfoten überzeugen. Bald sieht man aber das Thier unruhig werden, als bereite es sich langsam vor, einer ihm unangenehm gewordenen Reizung zu entfliehen. Wird der Frosch in diesem Zustande sich selbst überlassen, so vollzieht er auch die erwähnte Absicht, indem er seinen Leib so lange von den Elektroden entfernt, bis der Nerv von einer Elektrode abrutscht—jetzt macht das Thier einen Sprung. Wird dagegen der Frosch in dem Augenblicke wieder fest gehalten, wo er den zweiten Entfliehungsversuch zu machen anfängt, so sieht man nach einigen Augenblicken die hintere Extremität die schon früher beschriebene periodische Reihe von Flexionen und Streckungen vollziehen. Einige von diesen Streckungen haben bisweilen einen tetanischen Charakter; ich sah sie aber nie in einen ununterbrochenen Tetanus übergehen.

c') Bei starker Reizung, wenn sie den Nerv von Anfang an in voller Stärke trifft (zu welchem Zwecke man, ehe der Nerv auf die Elektroden kommt, den Hammer spielen lässt und dann mit einem Finger festhält), braucht man nicht den Frosch zu halten: er bleibt ohnedies ruhig sitzen (nur in dem ersten Augenblick fährt sein ganzer Leib zusammen). Unterbricht man die Reizung im Anfange der Ruheperiode, so macht der Frosch einen Sprung; wird die Reizung länger fortgesetzt, so entwickelt sich allmälig der Versuch zum Entfliehen, ganz wie in *b'*. Wird endlich das Thier während der letzten Periode festgehalten, so bekommt man schwache Andeutungen der periodischen Flexionen und Streckungen der hinteren Extremität. Vom Tetanus ist keine Spur vorhanden. Die Hautempfindlichkeit ist von dem Beginn der Reizung an gleich Null.

Somit sind die Effecte einer fortgesetzten Reizung des sensiblen Nerven, insofern sie in einem bestimmten Wechsel von Bewegung und Ruhe bestehen, sowohl in Fröschen *A* als in den geköpften Thieren einander gleich. Die zwischen den beiden Fällen existirenden Unterschiede reduciren sich im Wesentlichen auf ein viel leichteres Auftreten der Unterdrückung der

Hautempfindlichkeit bei Fröschen *A* und auf ein viel leichteres Auftreten des sogenannten allgemeinen Strecktetanus bei Fröschen *B*.

§ 12. Ueberblickt man nun die ganze Reihe der in diesem Abschnitte beschriebenen Thatsachen, so fällt zunächst in die Augen, dass sie in zwei Kategorien geordnet werden müssen: reine Bewegungsphänomene und die sie begleitenden Reizbarkeitsänderungen des locomotorischen und des reflektorischen Apparates. Zur letzteren Kategorie gehören namentlich die in § 11 vorgebrachten Thatsachen. Erst will ich die Bewegungsphänomene besprechen.

Bedenkt man, dass der stromprüfende Schenkel einen integrirenden Bestandtheil des locomotorischen resp. des reflektorischen Apparates bildet, und dass die Bewegungserscheinungen an den letzteren durch dieselben Mittel gewonnen worden sind, deren man sich zur Erforschung der Eigenschaften des motorischen Nerven bedient hatte, so wird jedem klar, dass man die Bewegungsphänomene an unseren Apparaten mit den entsprechenden Erscheinungen an einem stromprüfenden Schenkel vergleichen kann. Es ist ferner einleuchtend, dass aus diesem Vergleich weitere Schlüsse gezogen werden können, wenn man annimmt, dass der sensible Nerv sich gegen die elektrischen Reize genau gleich einem motorischen verhält. Man gewinnt nämlich dadurch die Möglichkeit, einige der Eigenschaften der Nervencentra kennen zu lernen, insofern jetzt alle in dem Verhalten unserer Apparate und des stromprüfenden Schenkels gegen die gleichnamige Reizung obwaltenden Unterschiede auf die Nervencentra, als Grund dieser Abweichungen, bezogen werden können. Inwiefern jedoch die erwähnte Annahme der Wirklichkeit entspricht, lässt sich zur Zeit nicht entscheiden; nur das eine kann man behaupten: durch die bis jetzt von mir angeführten Thatsachen hat sie an Wahrscheinlichkeit eher gewonnen als verloren.

Von diesen Gesichtspunkten aus lassen sich nun folgende Schlüsse aus den angeführten Thatsachen ziehen:

1) Das du Bois'sche Grundgesetz für die elektrische Erregung des motorischen Nerven ist auch für die entsprechende excitomotorische Erregung des locomotorischen und des reflektorischen Apparates von den sensiblen Rückenmarksnerven aus giltig.

2) Die reflektorischen und die locomotorischen Centra sind bei weitem nicht so labil wie der Muskel; dafür kommt ihnen aber in einem sehr hohen Grade die Fähigkeit zu, die ihnen zugetheilten einzelnen Stösse zu summiren[1].

3) Dieser Fähigkeit liegt offenbar die Eigenschaft der Nervencentra zu Grunde (siehe § 7), die ihnen zugetheilten Stösse eine Zeit lang in latenter Form zu conserviren. Wenn die einzelnen Erregungen entweder zu schwach oder zu kurz sind, um jedesmal excitomotorisch zu wirken, so bleiben ihre Erfolge in motorischer Beziehung absolut latent, sonst nehmen sie nach Ablauf der Bewegung die Form einer positiven Nachwirkung an. In beiden Fällen müssen aber die latenten Erregungsformen als einander gleich

[1] Dieser und alle die nachfolgenden Schlüsse sind nur unter der Bedingung eines identischen Verhaltens des sensiblen und des motorischen Nerven gegen die elektrischen Reize giltig.

aufgefasst werden, insofern beide eine Reizbarkeitszunahme des reflektorischen resp. des locomotorischen Apparates bedingen.

4) Ein noch grösserer Unterschied zwischen dem stromprüfenden Schenkel und den reflektorisch wirkenden Apparaten zeigt sich weiter darin, dass jener die seinen Nerv treffenden kurz andauernden elektrischen Schläge (z. B. Inductionsschläge) immer nur mit kurz abgebrochenen Muskelzusammenziehungen (Zuckungen)—diese zunächst ebenfalls mit Zuckungen, bei einer bestimmten Reizungsstärke aber mit einer *coordinirten Reihe* von Bewegungen beantworten. Diese Thatsache erklärt sich nun durch die im Schlusse 3 angeführte Eigenschaft der Nervencentra ziemlich befriedigend, wenn man dazu noch eine weitere Annahme macht, dass die Erregungswiderstände innerhalb eines Systems der untereinander coordinirten Bewegungscentra um vieles kleiner als diejenigen sind, welche sich der Erregung des ganzen Systems von dem sensiblen Nerven aus entgegensetzen. Ich setze mit anderen Worten voraus, dass es verhältnissmässig schwer ist, das Anfangsglied einer solchen coordinirten Kette durch einen sehr flüchtigen Stoss von aussen her in Bewegung zu setzen, ist dieses aber einmal geschehen, so pflanzt sich die Erschütterung innerhalb der Kette von Glied zu Glied mit grosser Leichtigkeit fort. Ich huldige, wie man sieht, der Meinung, dass die Erregung eines coordinirten und reflektorisch wirkenden Systems durch flüchtige Stösse immer nur von einem einzigen Punkte dieses Systems ausgehen soll[1].

5) Wird ein solches System von aussen her durch einen länger andauernden Reiz getroffen (wie es z. B. die Schliessungs oder Oeffnungsschläge der Kettenströme sind), so muss natürlich in die coordinirten Bewegungen ein tetanischer Moment sich einmischen, was auch wirklich der Fall ist.

6) Vom N. ischiadicus aus, bei Reizung desselben mit einzelnen elektrischen Schlägen werden die Muskeln in folgender Reihe nach einander erregt: 1) portio abdominalis des m. pectoralis (nach *Ecker*, oder m. abdominohumeral. von *Dugès*) auf der gereizten Seite (es ist ein Herabzieher des Arms nach unten); 2) m. triceps brachii (Strecker des Vorderarms) derselben Seite; 3) m. triceps femoris (Strecker des Unterbeins) auf der der Reizung entgegengesetzten Seite. Mit anderen Worten: die erste Wirkung der Nervenreizung äussert sich durch eine Bewegung des gestreckten Arms der gereizten Seite nach hinten und durch eine Streckung im Kniegelenk des Hinterbeins der entgegengesetzten Seite.

7) Schliesslich muss ich noch des Umstandes erwähnen, dass die reflektorischen Zuckungen in geköpften Thieren im Allgemeinen leichter als in den Fröschen mit abgetragenen Hemisphären zu Stande kommen, und dass sie in beiden Fällen gleiche Ausbreitung und dieselbe Reihenfolge zeigen. Die erste Hälfte der Erscheinung gehört offenbar in dieselbe Kategorie mit

---

[1] Eine andere Erklärungsweise für die Nacheinanderfolge der Muskelzusammenziehungen in einer coordinierten Bewegung wäre noch darin zu suchen, dass alle einzelnen Glieder der Kette, in Folge ihres ungleich grossen Erregungswiderstandes, von aussen her, und zwar jedes einzelne Glied getrennt von dem anderen, in einer bestimmten Nacheinanderfolge erregt werden. Die schwächste Seite dieser Anschauungsweise besteht meiner Meinung nach darin, dass sie schliesslich zur völligen Negation der doch unzweifelhaft existirenden intercentralen Leitungen führt.

der bekannten Thatsache des Anwachsens des Reflexvermögens in den Thieren in Folge ihrer Köpfung und muss auf dieselben Gründe wie dieses letztere Anwachsen zurückgeführt werden. Die zweite Hälfte lässt aber vermuthen, dass bei einer schwachen Reizung des sensiblen Nerven die ersten excitomotorischen Effecte im Körper des Frosches ohne Betheiligung des Gehirns, d. h. nur innerhalb des Rückenmarks, zu Stande kommen.

§ 13. Jetzt gehe ich zur Analyse derjenigen Erscheinungen über, welche durch continuirliche Reizung des sensiblen Nerven mit Inductionsströmen gewonnen worden sind.

Es ist soeben die Bemerkung gemacht worden, dass in Fröschen *A* der reflektorische Apparat des Rückenmarks höchst wahrscheinlich schon bei schwachen Reizungen erregt wird. Um so mehr muss es natürlich für die Fälle einer stärkeren Reizung gelten. Daraus geht aber mit Nothwendigkeit hervor, dass die Erfolge der continuirlichen Nervenreizung erst an den Fröschen *B* analysirt werden müssen.

Unsere Analyse der in *a*, *b* und *c* beschriebenen Erscheinungen beruht auf folgenden zwei Prämissen:

1) der sensible Nerv, als Leiter, verhält sich gegen die elektrische Reizung genau so, wie der motorische;

2) die centralen Gebilde des Rückenmarks, welche die sensiblen Fasern mit den motorischen verbinden, sind ausschliesslich reflektorischer Natur; ihnen kommt, mit anderen Worten, nur die Fähigkeit zu, die Erregungen vom sensiblen Nerven auf den motorischen zu übertragen.

Die erste Voraussetzung ist, wie man leicht einsehen wird, unumgänglich nöthig, weil sonst überhaupt keine Sonderung zwischen einem Leiter und einem Nervencentrum möglich ist. Die zweite Voraussetzung muss aber aus folgenden Gründen aufgestellt werden: abgesehen davon, dass sie in sich alles uns bis jetzt über die Rückenmarkscentra thatsächlich Bekannte einschliesst, hat diese Hypothese den Vorzug der Einfachheit. Gesetzt, wir wären im Stande, alle die zu analysirenden Erscheinungen am Frosche *B* in Einklang mit dieser Hypothese zu bringen, so würde man nicht genöthigt sein, den Nervencentra neue Eigenschaften zukommen zu lassen. Dieses wird erst dann unentbehrlich, wenn die Grundhypothese zur Erklärung des vorliegenden Materials nicht ausreicht.

1) Der Effect einer fortgesetzten schwachen Nervenreizung, bestehend aus einer einzigen kurz andauernden Bewegung, erklärt sich am ungezwungensten durch die Annahme, dass die Erregbarkeit eines in Thätigkeit gesetzten Nervencentrums sehr rasch abnimmt;—eine Anschauungsweise, welche zwei Analogien für sich hat: in den Erregungen des Auges durch das Licht und in den Erregungen der Athmungscentra durch das Blut.

2) Bei den Erfolgen der mittelstarken Nervenreizung sind folgende Momente zu erklären: α) die Richtung der Bewegung in der ersten Bewegungsphase, das Anwachsen derselben an Stärke und Dauer bei der Verstärkung der Reizung und endlich das Verschwinden der ersten Bewegungsphase; β) die Bedeutung der Ruhepause für die zweite Bewegungsphase; γ) das Verhältniss der letzteren zu der ersten Bewegungsphase.

α) Das Vorwiegen der Streckung der vorderen Extremitäten in der Richtung zu den hinteren, welches die erste Bewegungsphase charakteri-

sirt, muss daraus erklärt werden, dass vom Nervus ischiad. aus die an dieser Streckung betheiligten Muskeln (s. d. Schluss 6, im § 12), oder eigentlich diesen entsprechenden Nervencentra, am leichtesten erregbar sind. Uebrigens treten oft während der ersten Bewegungsphase auch solche Fälle ein, wo zugleich mit dem Herabzieher der vorderen Extremität und mit dem Strecker des Unterarms die Heber der Extremität (die oberen Bündel des m. sterno-radialis und port. clavicul. m. deltoidei) miterregt werden. Gerade in solchen Fällen bekommt die gestreckte Extremität eine zum Horizont geneigte Lage.

Die Zunahme der ersten Bewegungsphase an Stärke mit der Verstärkung der Reizung bedarf keiner Erläuterung. Die Zunahme derselben unter den enstprechenden Bedingungen an Dauer (in Vergleich mit den Erfolgen einer schwachen Reizung) erklärt sich einerseits dadurch, dass mit der Verstärkung der Reizung neue weniger erregbare Muskelgruppen (oder eigentlich Nervencentra) in Thätigkeit gesetzt werden, andererseits aber wiederum aus den Analogien mit dem Auge und den Athmungscentra.

Das Verschwinden der ersten Bewegungsphase erklärt sich, wie die entsprechende Erscheinung bei der schwachen Reizung, durch die Abnahme der Erregbarkeit des reflektorischen Apparates.

β) Damit ist die Bedeutung der Ruhepause in Bezug auf die erste Bewegungsphase festgestellt. Was aber ihre Bedeutung für die zweite Bewegungsphase anbetrifft, so kann man darüber einstweilen nur folgendes sagen; es ist ein Ladungsstadium derjenigen Nervengebilde, durch deren Thätigkeit die zweite Bewegungsphase zu Stande kommt.

γ) Die Frage über das gegenseitige Verhältniss der beiden Bewegungsphasen läuft dahin aus, ob die an denselben betheiligten Nervenapparate gleich oder verschieden sind. Im ersteren Falle würden die Effecte einer mittelstarken Nervenreizung überhaupt die Bedeutung einer periodisch wiederkehrenden Thätigkeit des Rückenmarks erlangen; in dem zweiten würde man aber noch den Moment der Verschiedenheit der Apparate in's Spiel ziehen müssen. Ueber die Bedeutung der verschiedenen Bewegungsphasen an der hinteren Extremität kann, glaube ich, kein Zweifel obwalten: hier sind sie alle (Flexionen und Streckungen), sowohl die erste, als die zweite, dritte und die nachfolgenden, einander so vollkommen ähnlich, dass eine Vermuthung über die Verschiedenheit der an denselben betheiligten Apparate entschieden nicht am Platze wäre. Mit der ersten und der zweiten Phase an den vorderen Extremitäten steht es aber anders, weil sie einander keineswegs so vollkommen ähnlich sind. Zudem gesellt sich der Umstand, dass man im Rückenmark der weissen Substanz der Hinterstränge und der grauen Masse verschiedenes Leitungsvermögen zuschreibt.

In Anbetracht dieser Thatsachen kann die Frage über die mögliche Verschiedenheit der an den Bewegungsphasen betheiligten Nervenapparate natürlich nicht umgangen werden; und dieses gilt besonders für die zwei ersten Bewegungsphasen der vorderen Extremitäten, insofern sie einander am meisten unähnlich sind.

Auf experimentellem Wege lässt sich die Sache nur auf eine einzige Weise, aber auch hier leider nur zur Hälfte, entscheiden: man muss um die Mittel suchen, die eine von den Phasen *vollständig* schwinden zu lassen,

ohne die andere in ihrer normalen Stärke zu gefährden; ist dieses gelungen, so ist die *vollständige* Verschiedenheit der in den beiden Bewegungsphasen thätigen Nervengebilde streng bewiesen; im anderen Falle kann aber das Gegentheil noch nicht behauptet werden, weil man dazu erst beweisen müsste, dass wirklich alle Mittel zur Trennung der Phasen von einander erschöpft worden sind.

Das Unternehmen war, wie man sieht, kein recht anlockendes, insofern man in dem günstigsten Falle einer schwierigen Aufgabe entgegentrat, die Stärke der Bewegungsphase zu messen. Ich schritt dennoch zu Werk. In der Voraussetzung, dass die Unterschiede zwischen den in den beiden Phasen thätigen Nervenapparaten möglicherweise schon von der Peripherie aus gegeben sind, wurden zuerst Durchschneidungen je einer oder je zweier der hinteren Spinalwurzeln des Plexus ischiad. vorgenommen; hierauf folgten die partiellen Durchschneidungen des Rückenmarks; endlich wurde sogar der Bauchsympathicus exstirpirt. Alle diese Versuche sind in Bezug auf die Hauptfrage gescheitert, insofern durch dieselben eine Trennung der Phasen in dem oben gedachten Sinne vollkommen misslang. Die Durchschneidungen des Rückenmarks haben dennoch folgende zwei nicht unwichtige Resultate ergeben: 1) die in den beiden Bewegungsphasen thätigen Leitungsbahnen des Rückenmarks können nicht für den einen Fall ausschliesslich in der weissen Substanz der Hinterstränge, für den anderen in der graue Massen localisirt werden, es betheiligen sich wahrscheinlich an den beiden Phasen beide Arten von Leitungsbahnen zugleich; 2) die Anzahl der thätigen Leitungsbahnen ist bei der zweiten Bewegungsphase eine viel grössere als bei der ersten. Das erste Resultat haben Thiere geliefert, denen ein Stück Hinterstränge in der Höhe des vierten Wirbels ausgeschnitten war;—bei solchen Thieren kommen namentlich unter dem Einflusse einer mittelstarken Nervenreizung beide Phasen zum Vorschein. Die Richtigkeit des zweiten Satzes constatirt man sehr leicht an Fröschen *B* mit halbseitiger Durchschneidung des Rückenmarks, indem man den Nerv auf Seite des Schnittes reizt: man trifft dabei gewöhnlich einen viel grösseren Unterschied in der gegenseitigen Stärke dar Bewegungsphasen, als unter den normalen Verhältnissen.

Es kann somit keinem Zweifel unterliegen, dass die Summe der an der zweiten Bewegungsphase betheiligten Nervengebilde eine grössere ist; unsere Hauptfrage aber, ob die bei der ersten Phase thätigen Elemente auch an der zweiten Theil nehmen, muss einstweilen unentschieden bleiben.

Ich kann jedoch hier nicht abbrechen, ohne noch die Wahrscheinlichkeitsgründe anzuführen, welche zu Gunsten der letzten Möglichkeit sprechen.

Es ist erstens sehr leicht zu constatiren, dass die Bewegungen der vorderen Extremitäten, insofern sie in einer Hebung oder Streckung derselben bestehen, in beiden Phasen durch dieselben Muskelgruppen hervorgebracht werden. Der einzige wesentliche Unterschied in dieser Beziehung ist nur darin enthalten, dass bei der ersten Bewegungsphase Heber, Herabzieher und Strecker gewöhnlich zugleich,—bei der zweiten oft hintereinander erregt werden. Wollte man also an dem Unterschied zwischen den beiden Apparaten absolut festhalten, so würde man dennoch zu der Annahme genöthigt sein, dass sie gemeinsame Theile (motorische Zellen und Nerven) haben.

Es ist weiter einleuchtend, dass, so lange von dem Auftreten nur zweier Bewegungsphasen in Folge einer fortgesetzten Nervenreizung gesprochen wird, man in diesem Umstande eine nicht unbedeutende Stütze für die Ansicht über die Verschiedenheit der an den beiden Phasen betheiligten Nervenapparate gewinnt, insofern es im Frosche an die Existenz zweier Nervenapparate zwischen der Haut und den Muskeln (eines durch tactile—und eines durch schmerzhafte Reize erregbaren) in der That gedacht werden kann. Ich will aber den Leser daran erinnern; dass das Auftreten nur zweier Bewegungsphasen bei einer mittelstarken Nervenreizung keineswegs eine Regel ist;—manche Frösche, und namentlich sehr reizbare Individuen, zeigen unter dieser Bedingung statt zweier vier oder sogar fünf von einander getrennte tetanische Bewegungsanfälle.

Eine weitere Unterstützung für unsere Ansicht findet sich noch in dem Umstande, dass die zweite Bewegungsphase gewöhnlich so spät nach dem Ablauf der ersten eintritt. Wollte man an die Verschiedenheit der in den beiden Phasen thätigen Apparate festhalten, so würde man gezwungen sein den letzteren einen unglaublich grossen Unterschied in Bezug auf die Erregungswiderstände zu vindiciren.—Für die Erregung des einen würden schon einige Schläge hinreichend sein, während der andere mancher Tausende solcher Schläge bedarf.

Den letzten, aber auch den stärksten Beweis für die Richtigkeit der Ansicht, wonach das Auftreten der Bewegungsphasen eigentlich nur als ein Ausdruck der periodischen Thätigkeit des Rückenmarks aufzufassen ist, erblicke ich in dem Umstande, das von dem Standpunkte dieser Hypothese sich alle Erscheinungen, sowohl der schwachen als der mittelstarken Nervenreizung, sehr leicht erklären lassen. Nur muss man hierbei nicht vergessen, dass mit der Annahme einer Hypothese im Allgemeinen alle weiteren Voraussetzungen, welche die Anwendbarkeit derselben auf die zu erklärenden Erscheinungen erst ermöglichen, ebenfalls angenommen werden müssen. Zu diesen specielleren Voraussetzungen gehören folgende:

1) Es muss in die reflektorische Maschine des Rückenmarks, wenn sie durch Nervenreizung in Thätigkeit gesetzt wird, der Begriff der periodischwechselnden Erregungswiderstände eingeführt werden. Unter dieser Voraussetzung würde das Geschäft der Nervenreizung nicht blos in einer Ladung der Nervencentra mit lebendigen Kräften, sondern auch in einer Erhöhung der Erregungswiderstände bestehen; die Abwechselung zwischen Bewegung und Ruhe würde sich aber aus dem ungleichzeitigen Anwachsen beider Momente erklären.

2) Es müsste weiter angenommen werden, dass mit einer Verstärkung der Nervenreizung beide Momente zugleich anwachsen, der ladende jedoch rascher als der antagonistische.

3) Man müsste endlich annehmen, dass die Ladung und die Steigerung der Erregungswiderstände noch mit der Dauer einer gleich stark bleibenden Reizung, und zwar in demselben gegenseitigen Verhältnisse wie im vorigen Falle, anwachsen.

Die erste Voraussetzung würde überhaupt die Periodicität der Bewegung und Ruhe erklären. Die zweite würde dasselbe thun in Bezug auf das schnellere Auftreten der periodischen Bewegungen, sowie das Zusammen-

fliessen derselben in eine ununterbrochene Bewegung, mit einer Verstärkung der Reizung[1]. Die dritte Voraussetzung würde endlich das Eintreten der soeben beschriebenen Aenderungen in der Periodicität der Bewegungen auch für den Fall einer fortgesetzten, aber gleichbleibenden, Nervenreizung erklärlich machen.

Ich brauche kaum den Leser daran zu erinnern, dass alle Erscheinungen der schwachen und der mittelstarken Nervenreizung in nichts anderem als gerade in solchen Schwankungen der periodischen Bewegungen bestehen.

Vom Standpunkte unserer Hypothese muss endlich angenommen werden, dass die unter dem Einflusse der Nervenreizung stattfindenden Schwankungen der Erregungswiderstände in den reflektorischen Gruppen für die vorderen und die hinteren Extremitäten sehr verschieden von einander sein müssen. Die Bewegungsperioden in den vorderen Extremitäten dauern viel längere Zeit und haben immer einen stark ausgesprochenen tetanischen Charakter, dafür sind aber auch die Pausen zwischen den Bewegungsperioden viel länger, als an den hinteren Extremitäten. Uebrigens ist diese Verschiedenheit der beiden reflektorischen Gruppen gewiss einem jeden bekannt, welcher Versuche mit der chemischen Reizung der Haut an den enthaupteten Fröschen anstellte. Ich will bei dieser Gelegenheit den Leser noch an den Goltz'schen Umarmungsmechanismus der männlichen Frösche erinnern. Dieser ist ebenfalls eine tetanisch wirkende reflektorische Gruppe, an deren Thätigkeit die Muskeln der vorderen Extremitäten theilnehmen; hier ist nur der Angriffspunkt der Kraft ein anderer, als bei useren Versuchen.

Jetzt kommt die Frage an die Reihe, woher es kommt, dass bei einer gewissen Reizungsstärke die Heber, Strecker und Herabzieher der vorderen Extremität zugleich,—bei einer grösseren getrennt von einander erregt werden können.

Diese Frage kann eigentlich erst später beantwortet werden, nachdem wir die Erfolge einer starken Nervenreizung analysirt haben. Hier lässt sich darüber nur so viel sagen: die Herabzieher und die Strecker der Extremitäten sind bekanntlich vom N. ischiad. aus der Erregung mehr zugänglich als ihre Antagonisten die Heber, folglich kann man vermuthen, dass während der ganzen Dauer der ersten Bewegungsphase jene reflektorischen Apparate überhaupt stärker als diese gereizt werden, und in Folge davon einer stärkeren Ladung zu der erneuten Thätigkeit bedürfen. Mit anderen Worten, die Erhöhung der Erregungswiderstände in der Gruppe der Herabzieher und der Strecker nach Ablauf der ersten Bewegungsphase ist im Vergleich mit der entsprechenden Erscheinung innerhalb der antagonistischen Gruppe desto grösser, je stärker die Reizung.

4) Unter den Erfolgen einer starken Nervenreizung bedarf eigentlich

---

[1] Kehrt man diesen Satz um, indem man von den stärkeren zu den schwächeren Reizungen übergeht, so bekommt man eine bis in's Unendliche gehende Verlangsamung der periodischen Bewegungen. Dieser letzteren Bedingung entspricht der Fall einer schwachen Nervenreizung, welcher in einer einzigen Bewegung besteht mit unendlich langer Ruhepause darauf.

nur ein einziges Moment, namentlich das Verschwinden der ersten Bewegungsphase, einer Aufklärung.

Dass es sich hier um eine Unterdrückung eines reellen Bewegungsvorganges und nicht etwa um ein scheinbares Verschwinden der ersten Bewegungsphase in Folge ihres Zusammenschmelzens mit der zweiten handelt, haben wir schon oben gesehen. Die Beweise dafür liegen ja in dem Auftreten einer Nachwirkung in Form einer Bewegung, wenn die Reizung unterbrochen wird, und in der Unterdrückung des locomotorischen Vorganges an den Fröschen *A* unter den entsprechenden Bedingungen.

Nun glaube ich weiter, dass es sich an den Fröschen *B* nicht um eine Depression der ganzen ersten Bewegungsphase, sondern vielmehr um eine Unterdrückung der Thätigkeit nur jener Muskelgruppen handeln kann, welche die Extremitäten strecken und herabziehen. Es spricht ja der Umstand dafür, dass die Wirkung der starken Reizung manchmal mit einer Hebung der Extremitäten beginnt und weiter die Richtung der in der Form einer Nachwirkung eintretenden Bewegung.

Somit haben wir jetzt die Frage zu entscheiden, auf welche Weise die Unterdrückung der der schwachen und der mittelstarken Reizung entsprechenden Thätigkeit der Strecker und der Herabzieher der Extremitäten geschehen mag.

Hier sind nur drei Möglichkeiten denkbar: entweder verdankt die Unterdrückung der Bewegung ihren Ursprung einer Ueberreizung (Erschöpfung) derjenigen Nervengebilde, welche unter dem Einflusse einer weniger starken Reizung diese Bewegung zu Stande brigen; oder beruht unsere Erscheinung, insofern sie den äusseren Charakter einer Ruhe an sich trägt, auf einem Kampfe antagonistischer Muskelgruppen (Heber und Flexoren des Unterarms einerseits, Herabzieher und Strecker des Unterarms andererseits), in welchem die Gegner einander für einige Secunden in einem Gleichgewicht halten; oder endlich muss die Erscheinung als ein Hemmungsvorgang betrachtet werden, d. h. ihre Entstehung auf das Spiel besonderer von den reflektorischen Mechanismen getrennter Einrichtungen im Rückenmark zurückgeführt werden.

Die erste Auffassungsweise der Erscheinung ist offenbar nur unter der Bedingung möglich, wenn die Nervenapparate, welche bei einer mittelstarken Nervenreizung die beiden Bewegungsphasen zu Stande bringen, untereinander verschieden sind; sonst würde man ja zum absurden Schlusse geführt, dass die reflektorische Gruppe der Strecker und der Herabzieher die Fähigkeit besitzt, von starken Inductionsströmen zunächst überreizt, um nach einigen Augenblicken wieder erregt zu werden (der Hebung der Arme folgt bei starker Nervenreizung ein Strecktetanus). Somit muss diese Auffassungsweise nur deswegen in Betracht gezogen werden, weil es mir zu beweisen nicht gelang, dass die an den beiden Bewegungsphasen betheiligten Apparate einander gleich sind. Uebrigens besitze ich ganz unzweideutige Beweise gegen die Giltigkeit der Ueberreizungshypothese.

Es spricht der ganze Gang der Erscheinung gegen dieselbe: man sollte nämlich im Anfange der Reizung eine kurze, aber sehr starke tetanische Streckung erwarten— statt dieser bekommt man eine höchst unbedeutende Bewegung der Extremitäten; oder wenn die Ueberreizung blitzschnell er-

folgt, sollte man eine anhaltende positive Nachwirkung derselben nach Unterbrechung der Reizung erwarten, statt dieser bekommt man aber immer eine Bewegung, bisweilen sogar einen förmlichen Strecktetanus.

Viel beweisender als diese Thatsachen sind jedoch die Erscheinungen einer starken Nervenreizung an solchen Fröschen *B*, denen man auf der gereizten Seite die oberste und die zwei untersten von den hinteren Spinalwurzeln (der Frosch besitzt nämlich nicht drei hintere Spinalwurzeln für die hintere Extremität, sondern vier, die unterste vierte ist die schwächste von allen) für die hintere Extremität durchschnitten hat. Unter solchen Fröschen habe ich einige Fälle gesehen, wo starker Nervenreizung sofort ein heftiger und andauernder Strecktetanus nachfolgte. Ich muss aber ausdrücklich bemerken, dass diese Erscheinung bei weitem nicht constant ist, insofern die Reizungserfolge an den Fröschen mit den paarweise durchschnittenen hinteren Wurzeln überhaupt in einem sehr hohen Grade von einem Thier zum anderen variiren. Man begreift aber leicht, dass eine einzige solche Beobachtung schon genügend ist um die Ueberreizungshypothese umzustürzen.

Die zweite Hypothese lässt sich sehr leicht experimentell prüfen, weil man die reflektorische Gruppe der Heber mittelst einer Durchschneidung des Rückenmarks dicht oberhalb des Plexus brachialis von der antagonistischen Gruppe der Herabzieher trennen kann[1]. Wäre unsere Erscheinung durch das Spiel dieser zwei Muskelgruppen hervorgebracht, so sollte man nach der Entfernung der Heber ein sofortiges Eintreten des Strecktetanus in Folge einer starken Reizung des Nerven erwarten. Statt dieses bekommt man aber folgendes: zunächst eine Streckung und Herabziehung der Arme (als Ueberbleibsel der ersten Bewegungsphase), welche schwächer ist, als die entsprechende Bewegung an demsellben Thiere unter dem Einflusse einer mittelstarken Reizung; hierauf einige Secunden Ruhe; endlich einen heftigen Strecktetanus. Vergleicht man übrigens diese Versuche mit den entsprechenden normalen, bei welchen das Rückenmark dicht unterhalb der Rautengrube durchschnitten ist, so überzeugt man sich leicht, dass das Ueberbleibsel der ersten Bewegungsphase in Folge der Entfernung der Heber stärker geworden ist, und insofern, d. h. nur für den ersten Moment einer starken Nervenreizung, hat das antagonistische Spiel der Muskeln eine reelle Bedeutung. Sonst ist offenbar auch die zweite Hypothese zur Erklärung unserer Erscheinung nicht ausreichend.

Somit sind wir via exclusionis zu der Hemmungshypothese geführt.

Ich bin des grossen Wagnisses, solche Hypothesen nicht auf Grund directer Anzeige, sondern per exclusionem aufzustellen, sehr wohl bewusst. Wollte man aber dieser l o g i s c h e n Nothwendigkeit der jetzt herrschenden Ansicht über die ausschliesslich reflektorische Natur der Rückenmarkscentra zu Liebe ausweichen, so würde man genöthigt sein, folgende Erschei-

[1] Man überzeugt sich davon durch folgende Reihe von Versuchen (besonders eclatant an den Froschmännchen): 1) nach Durchschneidung des Rückenmarks an dem genannten Orte ist es nicht mehr möglich Umarmungsreflexe durch Reizung der das Sternum bedeckenden Hautstellen mit dem Finger wachzurufen; 2) eine jede Reizung der Pfoten kann jetzt nur Herabziehungs- und Streckbewegungen zur Folge haben; 3) bei Reizung des N. ischiad. sieht man an solchen Thieren eine Hebung der Arme nie.

nungen in ein und dasselbe reflektorische Centrum zu versetzen (man behalte hierbei das Verhalten der ersten Bewegungsphase zu den verschieden starken Nervenreizungen im Auge): ein Anwachsen der excitomotorischen Wirkung bis zu einem gewissen Grade mit der Verstärkung schwächerer Reizungen und eine fast bis zum völligen Verschwinden reichende Abnahme derselben excitomotorischen Wirkung [in Folge eines Latentwerdens der Erregungsstösse] bei stärkeren Reizungen. Um wie viel einfacher gestaltet sich die Sache, wenn man diese Schwankungen der excitomotorischen Effekte auf das Spiel z w e i e r antagonistisch wirkenden Einrichtungen bezieht, von denen die eine den motorischen Effekten, die andere dem Geschäfte ihrer Hemmung vorsteht. Man müsste nur noch die Annahme machen, dass die ersteren Nervengebilde bei schwächeren Reizungen stärker als ihre Antagonisten erregt werden, bei den stärkeren—umgekehrt. Zu der ersten Hälfte dieser Annahme wurde ich, wie der Leser sich erinnern wird, schon oben in Bezug auf das Verhältniss der Ladungen der Nervencentra mit lebendigen Kräften und der Schwankungen der Erregungswiderstände gegen die verschiedenen Reizungsgrade des Nerven geführt.

Ich könnte die Hemmungshypothese in ihrer Anwendung auf die Erscheinungen der Rückenmarksthätigkeit unter dem Einflusse der Nervenreizung natürlich noch viel weiter ausbeuten[1], ich will aber hier abbrechen in Anbetracht dessen, dass es mir eigentlich nur gelang, in dem ganzen Rückenmark e i n e A r t Hemmung n u r für einige Muskelgruppen (ausser den Herabziehern und Streckern der vorderen Extremitäten noch für die Strecker des Unterschenkels) und n u r für den Fall einer verhältnissmässig starken Nervenreizung zu bekommen.

Ich kann jedoch die Analyse der Erscheinungen an den Fröschen *B* nicht abschliessen, ohne vorher folgende zwei Bemerkungen gemacht zu haben:

1) die Unterdrückung des Strecktetanus muss als ein Vorgang von kurzer Dauer angesehen werden, weil die gehemmte Bewegung bei fortgesetzter Reizung dennoch zu Stande kommt:

2) durch die active Unterdrückung der Streckbewegungen bei stärkeren Reizungen erklärt sich das unter denselben Bedingungen stattfindende freiere Auftreten der Hebebewegungen am ungezwungensten.

Die Erscheinungen der Unterdrückung der Hautempfindlichkeit bei starker Nervenreizung werden unten besprochen.

§ 14. Der Analyse der entsprechenden Erscheinungen an den Fröschen *A* muss Folgendes vorausgeschickt werden:

1) alle den Fröschen *A* und *B* unter gleichen Bedingungen gemeinsame Erscheinungen müssen auf die Erregungen des Rückenmarks allein, oder wenigstens auf gleiche Gründe, alles übrige dagegen auf die Erregungen der locomotorischen Centra bezogen werden;

2) inwiefern man durch meine früheren Untersuchungen, besonders aber durch die neulich erschienene Arbeit von Frl. Dr. Suslowa (Beitr. z.

[1] Man könnte nämlich alle Schwankungen der Erregungswiderstände innerhalb der Nervencentra nach oben auf das Spiel hemmender Einrichtungen und somit die ganze periodische Thätigkeit des Rückenmarks auf ein periodisch-intermittierendes Spiel der Bewegungs- und Hemmungsmechanismen zurückführen.

Phys. d. Lymphherz. Inaug.-Diss. Zürich 1867) zu der Annahme reflexhemmender Mechanismen im Gehirne des Frosches berechtigt ist, insofern kann es gedacht werden, dass Reizungen d. N. ischiad. in den Fröschen *A* zugleich mit den locomotorischen und den reflektorischen Apparaten auch die genannten Hemmungsmechanismen zu erregen im Stande sind. Es muss mit anderen Worten diese Möglichkeit bei jeder Erscheinung mit einem hemmenden Charakter an den Fröschen *A* in Betracht gezogen und die Erscheinung dem entsprechend analysirt werden.

Diesen Voraussetzungen gemäss brauchen unter den Erfolgen der Nervenreizung bei Fröschen *A* folgende Erscheinungen nicht mehr besprochen zu werden: die Effekte der schwachen und der mittelstarken Reizung, inwiefern die letzteren aus einer Abwechselung von Bewegung und Ruhe bestehen. Es bedürfen dagegen folgende Thatsachen einer Aufklärung: die Depression der Hautempfindlichkeit bei mittelstarker Reizung; das Ausbleiben des locomotorischen Vorgangs bei starker Reizung; eindlich das offenbar schwerere Auftreten des Tetanus bei Fröschen *A*, als bei den geköpften Thieren.

Die erste dieser Thatsachen hat offenbar den äusseren Charakter einer Hemmungserscheinung, sie muss folglich von dem oben angedeuteten Gesichtspunkt behandelt werden.

Unsere Frage besteht demnach in Folgendem: kann die Abschwächung der Hautempfindlichkeit in Folge einer mittelstarken Nervenreizung als Folge einer Erregung der reflexhemmenden Mechanismen des Gehirns betrachtet werden, oder nicht?

Um diese Frage bejahen zu können, muss erstens jeder Verdacht an die Ueberreizung der excitomotorischen Gebilde, als Grund dieser Erscheinung, beseitigt werden; hierauf muss man um die Auffindung anderer Zeichen (ausser der zu analysirenden Erscheinung) für die Erregbarkeit der Hemmungscentra vom N. ischiad. aus sorgen; und endlich muss gezeigt werden, dass eine directe Reizung der mittleren Hirntheile genau dieselbe Erscheinung in der Haut hervorrufen kann.

Die erste Vorfrage kann, wie ich glaube, mit voller Schärfe durch folgenden Versuch entschieden werden: an einem nicht gar zu empfindlichen und frei sitzenden Frosche *A* gelingt es fast immer durch eine sehr langsame und ganz allmälige Annäherung der secundären Rolle zu der primären (beim spielenden Hammer) die Gränze jener Stromstärken zu überschreiten, welche den locomotorischen Apparat zu erregen im Stande sind, wenn sie auf den Nerv von Anfang an wirken. Gelingt es auf diese Weise den Grad einer mittelstarken Reizung zu erreichen, so gelingt es zugleich eine Depression der Hautempfindlichkeit in den Pfoten, und zwar an einem während der ganzen Zeit der Reizung ruhig gebliebenen Thiere zu sehen. Unter diesen Bedingungen kann von einer Ueberreizung der excitomotorischen Gebilde natürlich keine Rede sein. Uebrigens wird die Sache in dem II. Abschnitt diesser Abhandlung mit einer noch grösseren Schärfe bewiesen.

Der zweiten Vorfrage habe ich auf folgende Weise zu genügen gesucht: Frl. Dr. Suslowa hat in ihrer Arbeit über die Lymphherzen (l. c. pag. 23) die ganz richtige Beobachtung gemacht, dass schwache Reizung der Rami communicant. nur so lange einen excito-hemmenden Einfluss auf die Lymph-

herzen ausübt, bis die mittleren Hirntheile (eines Frosches mit abgetragenen Hemisphären) im Zusammenhang mit dem verlängerten Mark bleiben. Geleitet durch diese Beobachtung, habe ich dasselbe an dem N. ischiad. versucht und bekam absolut dasselbe, was Frl. Suslowa für die Reizung der Rami communic. angibt (l. c. pag. 19): bei Reizungsstärken, welche gerade die Bewegungen im Körper auszulösen beginnen (auch bei etwas niedrigeren Stromstärken, aber hier ist die Erscheinung nicht constant), beobachtet man an jedem Frosche *A* ohne Ausnahme einen flüchtigen diastolischen Stillstand der vorderen Herzen, welcher nach der Abtrennung der mittleren Hirntheile von dem verlängerten Mark[1] immer ausbleibt (obgleich diese Operation die excito-hemmende Wirkung der Vagusreizung auf die Lymphherzen nicht beeinträchtigt). Obgleich diese Erscheinung bei weiterer Verstärkung der Reizung (in's unbestimmte hinauf) überhaupt nie mehr beobachtet wird (der Effect besteht jetzt in einer Verstärkung der Herzthätigkeit), beweist sie doch unzweifelhaft, dass die die reflexhemmenden Mechanismen enthaltenden Hirntheile vom N. ischiad. aus erregt werden können.

Die dritte Vorfrage war eigentlich schon früher als die Frage selbst und zwar wiederum in der Arbeit von Frl. Dr. Suslowa entschieden: starke chemische Reizung des Sehhügelquerschnittes bewirkt bei Fröschen eine völlige Unterdrückung der Hautempfindlichkeit in den Pfoten. Somit kann die Abschwächung der Hautempfindlichkeit bei einer mittelstarken Reizung des N. ischiad. in der That als Folge der Erregung mittlerer Hirntheile betrachtet werden.

Die Frage über das Ausbleiben des locomotorischen Vorgangs im Anfange einer starken Nervenreizung muss eigentlich so gestellt werden: sind die durch eine starke Reizung im Rückenmark hervorgebrachten Hemmungserscheinungen zur Erklärung unseres Phänomens an und für sich schon genügend, oder müssen dazu neue hemmende Momente vom Gehirn aus hinzukommen?

Eine scharfe Entscheidung dieser Frage ist natürlich unmöglich, so lange wir die anatomischen und die physiologischen Verhältnisse der Locomotionscentra mit ihren centrifugalen Ausläufern zu den reflektorischen Centra des Rückenmarks nicht kennen. Die zweite Voraussetzung scheint mir dennoch mehr als die erste für sich zu haben, und zwar aus folgenden Gründen. In dem für die erste Voraussetzung günstigsten Falle liesse sich zwar der Effekt einer starken Erregung des Rückenmarks als eine Hemmung aller jener Bewegungen auffassen, welche den Beginn eines locomotorischen Vorganges bedingen[2] es könnte aber weiter nicht bewiesen werden, dass wenn die Bewegungscentra des Rückenmarks gegen die Angriffe dieses Systems von der Peripherie aus gehemmt worden sind (die Wirksamkeit

---

[1] Die Abtrennung soll jedoch nicht an der oberen Gränze des verlängerten Marks, wie es Dr. Suslowa angibt, geführt werden, sondern etwas niedriger.—Ich habe nämlich einen Fall gehabt, wo beim Schnitt durch die obere Gränze die excito-hemmende Wirkung der Ischiadicus-Reizung nicht ausblieb.

[2] Ich glaube auch, dass dieses vollkommen richtig ist, insofern bei einem sitzenden Frosche der Beginn eines Sprunges gerade die Thätigkeit jener Muskelgruppen (Strecker und Herabzieher der vorderen Extremitäten, Strecker der hinteren Extremitäten) in Anspruch nimmt, welche durch starke Nervenreizung paralysiert wird.

der Hemmungen im Rückenmark eines geköpften Thieres kann natürlich nur so weit beweisen werden), sie eben dadurch auch gegen die Angriffe des Systems von den Locomotionscentra aus gehemmt werden müssen. Die erste Voraussetzung kann mit anderen Worten einstweilen nicht bewiesen werden; zu Gunsten der zweiten kann ich dagegen den Umstand anführen, dass in Fröschen *A* die Nachwirkung des Hemmungszustands immer in einer locomotorischen Bewegung besteht.

Somit kann unsere Erscheinung am wahrscheinlichsten folgendermassen aufgefasst werden: insoweit die Frösche *A* in den ersten Momenten einer starken Nervenreizung eine Unempfindlichkeit gegen die äusseren Angriffe (Kneifen) auf die Haut zeigen, muss eine Betheiligung von Seite der Hemmungen im Rückenmark an der ganzen Erscheinung anerkannt werden; insofern aber die Frösche *A* unter den genannten Bedingungen noch ein Ausbleiben des Locomotionsvorgangs zeigen, muss entweder eine weitere Hemmung der Bewegungscentra im Rückenmark gegen die motorischen Impulse der Locomotionscentra, oder Hemmungen innerhalb der Locomotionscentra selbst, angenommen werden. Im ersteren Falle würde sich die hemmende Wirkung vom Gehirn aus bis in's Rückenmark hinein fortpflanzen mussen; in dem zweiten brauchte sie das Gebiet des verlängerten Marks nicht zu überschreiten.

Warum zeigen die geköpften Frösche unter dem Einflusse der Nervenreizung eine grössere Neigung zu den anhaltenden tetanischen Krämpfen, als Thiere mit den abgetragenen Hemisphären?

Ich glaube, der Grund hiervon liegt in folgenden zwei Umständen:

1) der oben gemachten Annahme gemäss, wonach die reflexhemmenden Mechanismen des Gehirns schon bei einer mittelstarken Nervenreizung erregt werden müssen, ist es verständlich, dass die reflektorischen Bewegungen in den Fröschen *A* überhaupt schwächer als die entsprechenden Bewegungen in den geköpften Thieren unter gleichen Bedingungen ausfallen müssen;

2) es ist weiter nicht minder klar, dass, abgesehen von jedem Spiele der Hemmungsmechanismen, die Anzahl der unter dem Einflusse der Nervenreizung intermittirend wirkenden Apparate bei den Fröschen *A* eine viel grössere ist als bei den Thieren *B*. Ist es also nicht natürlich zu denken, dass die Bewegungen bei den ersteren einen viel mehr ausgeprägten Charakter der Intermission zeigen müssen? Anders kann ich mir wenigstens die Sache nicht vorstellen.

Somit haben wir alle unsere Fragen beantwortet und jetzt will ich nur noch erwähnen, dass in allen übrigen Punkten die locomotorischen und die reflektorischen Centra gleiche Eigenschaften (der Nervenreizung gegenüber) zeigen: beide sind von aussen erregbar und gerathen unter dem Einflusse einer fortgesetzten Erregung in eine intermittirende Thätigkeit; für beide fällt endlich das Maximum der excitomotorischen Wirksamkeit auf die mittelstarken Reizungen des Nerven.

Die letzte Thatsache erinnert mich unwillkürlich an eine längst und allgemein bekannte Erfahrung, dass auch beim Menschen unter dem Ein-

flusse äusserer Angriffe (z. B. schmerzhafter) auf sein Nervensystem das Maximum der motorischen Thätigkeit auf mittelstarke Erregungen fällt, indem starke Affecte das Nervensystem entweder sogleich (wie man sich auszudrücken pflegt) paralysiren, oder es nur für kurze Zeit in eine starke Aufregung versetzen, worauf die sogenannte Erschöpfungsperiode des Nervensystems folgt. Die Aehnlichkeit zwischen den beiden Reihen von Erscheinungen ist, glaube ich, keine zufällige.

Am Schlusse dieses Capitels mögen mir noch einige Bemerkungen in Betreff der Locomotionscentra gestattet sein. Sie können, wie ich glaube, für die zukünftige Bearbeitung des Gegenstandes von Nutzen sein.

Werden die Locomotionscentra des Frosches als diejenigen Theile des grossen locomotorischen Apparates aufgefasst, welche auf einen enzigen Erregungsstoss von aussen (z. B. durch Reizung der Haut) eine Reihe von locomotorischen Bewegungen (im Gegensatz zu einer einzigen locomotorischen Phase), d. h. entweder den Vorgang des Kriechens und des Schwimmens, oder eine Reihe von Sprüngen, vermitteln können;—so gewinnt man dadurch die Möglichkeit, die topographische Vertheilung der Locomotionscentra durch die Masse des Gehirns zu bestimmen. Hieraus entspringt aber weiter die Möglichkeit, eine Parallele zwischen dem Gehirn und dem Herzen in Bezug auf die topographische Vertheilung der den beiden Organen zuhörigen rhythmisch-bewegenden Centra zu ziehen.

Ich beabsichtige damit natülrich nicht, eine Parallele zwischen dem locomotorischen und dem herzbewegenden Apparat *aufzustellen*, ich will nur zeigen, dass man auf diesem Wege neue Gesichtspunkte für die weitere Bearbeitung beider Gegenstände gewinnen kann.

1) Die untere Gränze der locomotorischen Centra liegt ganz sicher in den obersten Theilen des verlängerten Marks.

2) Solange ein Stück mittlerer Hirntheile im Zusammenhang mit dem verlängerten Mark bleibt, kommen in dem Körper locomotorische Bewegungen vor.

3) Die Locomotionscentra lassen sich im Gehirne des Frosches durch die ganze Masse desselben, von der oberen Gränze des verlängerten Marks hinauf, *vermuthen*; obgleich ich ausdrücklich bemerken muss, dass die Abtragung der Hemisphären, oder sogar die der Thalami optici, sämmt der vorderen Hälfte der Corp. bigemina, keine wahrnehmbare Stö-

1) Die untere Gränze der herzbewegenden Centra liegt ganz sicher in den obersten Theilen des Ventrikels.

2) Solange ein Stück Vorhöfe im Zusammenhang mit dem Ventrikel bleibt, kommen in den vom Schnitte nach unten gelegenen Theilen des Herzens rhythmische Bewegungen vor.

3) Die Bewegungscentra des Herzens lassen sich von der oberen Gränze des Ventrikels bis in den Venensack hinein *vermuthen*, obgleich es einem jeden bekannt ist, dass die Abtragung weder des Venensacks allein, noch des grössten Theils des Vorhöfe, eine wahrnehmbare Störung in dem Bewegungsvorgange des Herzens nach sich führt.

rung in dem locomotorischen Vorgang nach sich führt[1].

4) Die Abtragung der Hemisphären versetzt den locomotorischen Apparat in einen Tage lang dauernden Stillstand (wegen des Ausfallens der sogenannten spontanen Bewegungen); in diesem Zustande desitzt der Apparat die Fähigkeit, nur unter dem Einflusse äusserer Erregungsstösse in Thätigkeit zu gerathen.

5) Wird einem Frosche mit abgetragenen Hemisphären, also unter der Bedingung, wenn sein Locomotionsapparat still steht, das Gehirn an der Gränze zwischen den mittleren Hirntheilen und dem verlängerten Mark durchschnitten, so geräth der nach unten von dem Schnitte liegende Theil des locomotorischen Apparates in eine ununterbrochene Thätigkeit (das Thier fängt an spontan zu kriechen).

6) Der reflektorische Apparat des Rückenmarks beantwortet einzelne Erregungsstösse mit einzelnen Bewegungen; unter dem Einflusse einer fortgesetzten Nervenreizung geräth er in eine intermittirende Thätigkeit.

4) Die Abtragung des Venensacks versetzt den Bewegungsapparat des Herzens in einen unter gewissen Bedingungen fast Stunden lang dauernden Stillstand; in diesem Zustande besitzt der Apparat die Fähigkeit, nur unter dem Einflusse äusserer Erregungsstösse zu wirken.

5) Wird einem Frosche, während eines Stillstandes des Herzens, in Folge der Abtragung des Vennnsacks, ein Schnitt an der Gränze zwischen den Vorhöfen und dem Ventrikel geführt, so geräth der letztere in eine ununterbrochene rhythmische Thätigkeit.

6) Der abgeschnittene Ventrikel beantwortet einzelne Erregungsstösse mit einzelnen Contractionen; unter dem Einflusse einer fortgesetzten Heizung seiner Substanz, gerätha er in eine intermittirende Thätigkeit.

II. UEBER DIE CHEMISCHE REIZUNG DER SENSIBLEN NERVEN.

§ 15. Das Verhalten der sensiblen Nerven gegen die chemischen Reize ist bis jetzt noch von Niemandem systematisch untersucht worden. Herr H e r z e n (Expériences sur les centres modérateurs de l'action réfl. Turin 1864) war, so viel ich weiss, der einzige, der einige Versuche mit der chemischen Reizung der sensiblen Rückenmarksnerven an Fröschen anstellte. Insofern er aber durch diese Reizungen nur möglichst starke Erregungen des Nervensystems zu erzielen suchte und weiter nur die Nachwirkungen dieser Erregungen in's Studium zog, bediente er sich erstens nur zweier Substanzen und zweitens liess er die excitomotorische Seite der chemischen Reizung überhaupt unbeachtet. Jedenfalls verdanken wir diesem Forscher die Erfahrung, dass in Folge einer chemischen Reizung des sensiblen Nerven eine bedeutende Schwächung der Reffexe (von der Haut aus) eintreten kann.

---

[1] Lch abstrahire natürlich von der Unregelmässigkeit der Zwangsbewegungen, welche nur dann vorkommt, wen der Schnitt durch die Hirnmasse nicht perpendiculär zu der Längsaxe der letzteren geführt wird.

Der Gegenstand verdient jedoch aus mehrfachen Gründen systematisch behandelt zu werden: es ist erstens einmal klar, dass gerade die chemische Reizung des sensiblen Nerven zur Beförderung der Frage über das gegenseitige Verhältniss der sensiblen und der motorischen Fasern am meisten beitragen kann, weil die chemischen Substanzen bezüglich ihrer Wirksamkeit auf den motorischen Nerven sehr stark von einander differiren und alle diese Unterschiede, dank den Untersuchungen der Herren Eckhard und Kühne, bekannt sind. Es ist weiter nicht minder klar, dass in der Zukunft chemische Reizungen der centralen Nervenmassen eine grosse Rolle spielen müssen, weil ihre Wirkung, im Gegensatz zu der der elektrischen Ströme, sich auf kleinere Strecken isoliren lässt; insofern man aber bei solchen Reizungen meist unvermeidlich sowohl sensible als motorische Nervenwurzeln mitreizt, muss eine Untersuchung über das Verhalten der sensiblen Nerven gegen die chemischen Reize solchen Studien vorangehen.

Dem ersten Zwecke gemäss habe ich folgende Reihe von Substanzen in die Untersuchung gezogen: Alkalien, Säuren, Chloride der alkalischen Erden, einige Salze der schweren Metalle (Sublimat und Zinkvitriol), dicke Zuckerlösungen und Glycerin.

Dem zweiten Zwecke entsprechend musste ich die Reizungen noch auf die hinteren Spinalwurzeln (für die hinteren Extremitäten) ausdehnen.

Diese erste Reihe von Versuchen wurde unter zwei verschiedenen Hauptbedingungen angestellt: an Fröschen mit abgetragenen Hemisphären (Frösche *A*) und an den dicht unterhalb der Rautengrube geköpften Thieren (Frösche *B*). Es wurden weiter, sowohl die excitomotorischen Effecte der Reizung als auch die in Folge der letzteren eintretenden Aenderungen der Hautempfindlichkeit in Betracht gezogen. Die Prüfung der Hautempfindlichkeit vor und während der Reizung geschah mittelst des Kneifens der Finger mit einer Pincette, um die Effecte der chemischen Reizung mit denen der elektrischen vergleichbar zu machen.

Die der Nervenreizung vorangehenden blutigen Operationen sind dieselben geblieben wie in dem vorigen Abschnitte.

Die Reizung des Nerven geschah auf folgende Weise: das freie Ende des herauspräparirten N. ischiadic. wurde auf einer Glasplatte ausgebreitet und mit feinem Glaspulver bestreut, welches gleich darauf mit einem Tropfen der zu untersuchenden Substanz benetzt wurde. Frösche *A* wurden immer in einer frei sitzenden Lage, Frösche *B* meist in der Rückenlage untersucht.

Bei Reizung des Nerven mit Ammoniak musste ich mich, nach dem Verfahren des Herrn Dr. Kühne, eines schützenden Schirmes bedienen, weil die Ammoniakdämpfe sehr stark reizend auf die Haut des Frosches einwirken.

§ 16. Die Gesammtheit meiner Resultate kann in folgenden Sätzen zusammengefasst werden.

1) Dieselbe Reihe von Substanzen, welche bezüglich ihrer Wirkung auf den motorischen Nerven in zwei Hauptkategorien, namentlich in mehr oder minder wirksame und gar nicht wirksame Stoffe, zerfällt, muss in Bezug auf den sensiblen Nerven des locomotorischen und des reflektorischen Apparats in drei Kategorien eingetheilt werden: in Stoffe, welche vom Nerven aus gar keine Wirkung ausüben; in solche, welche zunächst excitomotorisch und hierauf reflexdeprimirend (diesen Ausdruck gebrauche ich nur der Kürze

wegen, es muss aber darunter eine deprimirende Wirkung der Reizung auf die Empfindlichkeit der Haut verstanden werden) wirken; endlich in Stoffe, welchen nur die letzte Wirkungsweise zukommt. Zu der ersten Kategorie gehören die Salze der schweren Metalle und Zuckerlösungen; zu der zweiten Aetzalkalien mit Ausnhame von Ammoniak (in Lösungen bis zu den 10%-gen hinunter), concentrirte Mineralsäuren (diese wirken nicht mehr excitomotorisch, wenn sie schon mit einem gleichen Volum Wasser verdünnt sind) und kalt gesättigte Lösungen von Chloralkalien; zu den Stoffen der dritten Kategorie gehören: Ammoniak, schwächere Lösungen der Substanzen der vorhergehenden Gruppe, organische Säuren und Chlorverbindungen der alkalischen Erden.

2) Frösche *A* und *B* unterscheiden sich in ihrem Verhalten gegen die chemische Reizung ihrer Nerven dadurch von einander, dass in den ersteren die beiden Effecte der Nervenreizung überhaupt viel leichter und in einem viel stärkeren Grade als in den letzteren auftreten. In den geköpften Fröschen kann man z. B. die Reflexe vom Nerven aus nur mittelst Alkalien und starker Mineralsäuren hervorrufen, und die Bewegungen sind auch in diesen Fällen sehr undebeutend; dagegen kann der locomotorische Apparat der Frösche *A* nebst Alkalien und Mineralsäuren noch durch die Chloralkalien in Thätigkeit gesetzt werden. Andererseits erreicht die bei den Fröschen *A* in Folge einer Nervenreizung eintretende Schwächung der Hautempfindlichkeit manchmal einen so hohen Grad, dass man durch das stärkste Kneifen der Pfoten mit der Pincette absolut keine reflektorische Bewegungen auslösen kann; in den Fröschen *B* ist dagegen die entsprechende Aenderung der Hautempfindlichkeit unter den entsprechenden Bedingungen der Nervenreizung (d. h. wenn der Nerv in beiden Fällen mit einer und derselben Substanz gereizt wird) meistens nur schwach angedeutet[1].

3) Die excitomotorischen Wirkungen kommen bei der chemischen Reizung der Nerven sowohl an Fröschen *A* als an Thieren *B* überhaupt viel schwerer zu Stande, als die reflexdeprimirenden. An den frisch gefangenen Winterfröschen erwiesen sich bei meinen Versuchen als excitomotorisch wirksam nur die Alkalien und die concentrirten Mineralsäuren (die ersteren immer, die zweiten nur häufig), an den frisch gefangenen Frühlingsfröschen—nebst jenen Stoffen noch die Chloralkalien; die Reihe der reflexdeprimirenden Substanzen ist dagegen eine viel grössere. Es muss ausserdem nicht vergessen werden, dass die excitomotorischen Effecte überhaupt stärkerer Lösungen zu ihrem Zustandekommen bedürfen, als die reflexdeprimirenden.

4) Die reflexdeprimirenden Substanzen, wenn sie alle in Form gesättigter Lösungen angewandt werden, lassen sich ihrer Wirksamkeit nach in folgende Gruppen eintheilen: *a*) Aetzalkalien (auch Ammoniak darunter) und die Mineralsäuren; *b*) Chloralkalien und Glycerin; *c*) Chloride der alka-

[1] Hiermit gerathe ich in einen Widerspruch mit Herrn Herzen, welcher keinen Unterschied zwischen einem geköpften und unversehrten Frosch in Bezug auf die reflexdeprimierende Wirkung der chemischen Nervenreizung gefunden hat (er beobachtete nämlich in beiden Fällen eine völlige Depression der Hautempfindlichkeit, l. c. S. 29—36); diesen Widerspruch glaube ich aber dadurch erklären zu können, dass Herr Herzen seine Versuche bei einer sehr grossen Hitze an erschöpften und meist mit Strychnin vergifteten Thieren angestellt hat.

lischen Erden, Oxalsäure und Weinsäure. Die grössere Wirksamkeit der Aetzalkalien und der Mineralsäuren in Vergleich mit den Stoffen der Gruppe *b* drückt sich nur darin aus, dass jene Stoffe die Hautempfindlichkeit viel rascher als diese deprimiren: bei Reizung des Nerven mit Aetzalkalien und Mineralsäuren ist der deprimirende Effect schon in Verlauf der ersten Minute nach Beginn der Reizung sehr stark ausgeprägt (was übrigens in Bezug auf die Alkalien schon von Herrn Herzen bemerkt worden ist); bei Anwendung der Chloralkalien und des Glycerins lässt dagegen der maximale Effect der Reizung 4—5 Minuten auf sich warten. Die maximalen Effecte sind übrigens in beiden Fällen gleich, insofern beide Arten von Substanzen die Hautempfindlichkeit an den Fröschen *A* bis zum völligen Verschwinden (auf das Kneifen der Pfoten mit der Pincette) deprimiren können. Die Substanzen der Gruppe *c* wirken dagegen entschieden schwächer als die der zwei ersten, weil sie zu einer völligen Depression der Hautempfindlichkeit nie führen können.

5) Werden die sensiblen Nerven der Frösche *A* und *B* mit solchen Lösungen der in 4) aufgezählten Substanzen gereizt, deren Concentrationen gerade hinreichend sind, um den motorischen Nerv zu erregen, so bekommt man weder die excitomotorischen noch die reflexdeprimirenden Effecte zu sehen. Letzteres gilt aber einstweilen nur für den Fall, wo die Empfindlichkeit der Haut mittelst des Kneifens geprüft wird. Ob sich dasselbe auch bei der Prüfung der Hautempfindlichkeit mittelst schwacher Säurelösungen herausstellen wird, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

§ 17. Soweit gehen die durch chemische Reizung der sensiblen Nerven unmittelbar gegebenen Thatsachen. Das Hauptergebniss dieser Versuche besteht offenbar darin, dass die excitomotorischen Wirkungen der chemischen Nervenreizung ungeheuer schwach sind im Vergleich mit den bekannten Effecten derselben Reizung an einem motorischen Nerven[1]; während zwischen den letzteren und den reflexhemmenden Wirkungen der chemischen Nervenreizung ein unverkennbarer Parallelismus existirt. Nur eine einzige Thatsache scheint gegen diesen Parallelismus zu sprechen, namentlich das Verhalten der motorischen und der sensiblen Nervenfasern gegen das Ammoniak. Während die ersteren durch diese Substanz in der Regel nicht erregt werden, äussert sich ihre Wirkung auf die sensiblen Fasern immer durch eine sehr starke Aenderung in der Empfindlichkeit der Haut. Uebrigens ist dieser Widerspruch, meiner Meinung nach, bloss ein scheinbarer: ich habe mich erstens durch Versuche überzeugt, dass Herr Prof. Funke mit Recht dem Ammoniak eine erregende Wirkung auf die motorischen Nerven zuschreibt[2], und zweitens dass das gewöhnliche Ausbleiben des motorischen

[1] Der Unterschied scheint übrigens rein quantitativer Natur zu sein, insofern die Aetz- und Chloralkalien in beiden Fällen die wirksamsten Reize darstellen und das Ammoniak in beiden Fällen sich als unwirksam erweist.

[2] Ich liess zu dem Zweck dem stromprüfenden Schenkel seine Hautbedeckung (es wurde ausserdem ein Stück Oberschenkelhaut in Verbindung mit dem Unterschenkel zur Bedeckung der Muskelwundenoberfläche zurückgelassen) und reizte den horizontal liegenden Nerv dadurch, dass ich seinen freien Querschnitt mit einem mit Ammoniak benetzten Glaskörnchen in Berührung brachte. Unter diesen Bedingungen gelang es mir einige Male ziemlich starke Zuckungen zu sehen. Wird dagegen das freie Nervenende mit einem Tropfen NH_3 benetzt, so bleiben die Zuckungen, wie es bei den Versuchen des Hrn. Dr. Kühne der Fall war, immer aus.

Effects wahrscheinlich nur von einer blitzschnellen Abtödtung der motorischen Fasern durch das Ammoniak abhängt, wenn dieses in Form einer concentrirten Lösung auf den Nerv einwirkt.—Ich habe nämlich gefunden, dass wenn ein motorischer Nerv durch eine directe Reizung mit NaCl in Erregung versetzt wird, die Zuckungen sogleich verschwinden, wenn man Ammoniak auf die gereizte Nervenstrecke auftropft.

Es ist weiter einleuchtend, dass wenn man von der Schwäche der excitomotorischen Wirkung der chemischen Reizung abstrahirt, man in dem Verhalten der sensiblen Nerven gegen die chemischen und elektrischen Reize (sowohl die Ketten- als die abwechselnd gerichteten Inductionsströme) wiederum einen Parallelismus findet: in beiden Fällen kommen nicht bloss excitomotorische, sondern auch reflexdeprimirende Wirkungen zu Stande; hier wie dort nehmen die letzteren mit der Reizungsstärke zu und sind unter gleichen Bedingungen der Nervenreizung an den geköpften Thieren schwächer als an den Fröschen mit abgetragenen Hemisphären ausgeprägt. Nur ein einziger Umstand scheint diesen Parallelismus zu stören: die excitomotorische Wirkung der Inductionsströme nimmt mit der Reizungsstärke zuerst zu und später ab, bei der chemischen Reizung habe ich aber nichts ähnliches gefunden.—Eine Gelegenheit zu solchen Beobachtungen könnten nur verschieden starke Lösungen von Aetzalkalien geben; ich habe aber immer als excitomotorisch wirksam noch solche ätzende Flüssigkeiten gesehen, welche durch das Zerfliessen der Kalihydratstücke an der Luft entstanden sind. Das Ammoniak kann in dieser Beziehung den starken Inductionsströmen ebenfalls nicht zur Seite gestellt werden, weil die letzteren die Hautempfindlichkeit auch in den geköpften Thieren zum völligen Verschwinden bringen können, während das Ammoniak es nie zu machen im Stande ist. Uebrigens kann dieser Umstand dadurch erklärt werden, dass die Inductionsströme, als überhaupt die stärksten von allen bekannten Nervenreizen, mehr als die chemischen Reize zu leisten im Stande sind.

Die einzige Thatsache, welche einer Erklärung bedarf, ist somit das Ueberwiegen der reflexdeprimirenden Effecte bei einer chemischen Reizung der sensiblen Rückenmarksnerven über die excitomotorischen Wirkungen derselben Nervenreizung.

Es lassen sich hierüber nur zwei Möglichkeiten a priori denken: stellt man sich die centripetalleitenden Fasern der Rückenmarksnerven des Frosches als nur aus excitomotorisch wirkenden Fasern bestehend vor, so könnte das fragliche Ueberwiegen der reflexdeprimirenden Wirkung über die excitomotorische n u r aus einer leichten Ueberreizbarkeit der excimotorischen Fasern durch chemische Agentien abgeleitet werden. Würde sich dagegen die letzte Voraussetzung als unrichtig erweisen, so müsste man zunächst beweisen können, dass die excitomotorischen Fasern der Rückenmarksnerven von den chemischen Reizen überhaupt viel weniger als die motorischen angegriffen werden, und erst dann würde man zu der Annahme berechtigt sein, dass die von uns genannten reflexdeprimirenden Wirkungen von einer Erregung specifischer Nervenfasern abhängig sind.

Es lässt sich sehr leicht und sehr scharf beweisen, dass die reflexdeprimirenden Wirkungen der chemischen Nervenreizung aus einer Ueberreizung der excitomorischen Nervenfasern nicht abgeleitet werden können. Es spricht

ja unzweideutig dagegen schon der allgemeine Gang der Erscheinungen, wenn man von den schwächer zu den stärker wirkenden chemischen Agentien, z. B. von den Chlor- zu den Aetzalkalien, aufsteigt. An Winterfröschen, und zwar an den Thieren *A*, ist der excitomotorische Effect der Chloralkalien in der Regel=0, der reflexdeprimirende dagegen sehr stark (die Haut zeigt sich gewöhnlich vollkommen unempfindlich 5 Minuten nach Beginn der Reizung); wollte man die letztere Wirkung als eine Ueberreizung der excitomotorischen Fasern auffassen, so müsste man auf das Ausbleiben des excitomorischen Effects bei einer Behandlung der Nerven mit concentrirten Lösungen von Aetzalkalien a fortiori rechnen; dieser Effect bleibt aber unter der letzten Bedingung nie aus. Ich besitze weiter folgende Erfahrung: wartet man bei einer Reizung des sensiblen Nerven am Frosche *A* mit Kochsalz den Zeitpunkt ab, wo die Finger aller seiner Pfoten auf ein starkes Kneifen mit der Pincette unempfindlich geworden sind und durchschneidet hierauf den Nerv oberhalb der gereizten Nervenstrecke, so kehrt die Hautempfindlichkeit s o g l e i c h zurück. Das Durchschneiden eines überreizten Nerven könnte unmöglich zu einem solchen Resultate führen, weil der Durchschneidungsakt einen neuen und zwar einen starken Reiz für den Nerv mitbringt, folglich der Ueberreizungszustand im reflektorischen Apparate einige Zeit noch als Nachwirkung bestehen müsste.

Zu Gunsten einer verhältnissmässig starken Unempfindlichkeit der excitomotorischen Nervenfasern gegen die chemischen Reize, oder sogar zu Gunsten ihrer Immunität gegen dieselben, kann ich folgenden Versuch anführen: einem geköpften Frosche werden nach Eröffnung der unteren Hälfte des Wirbelkanals die hinteren Nervenwurzeln des Plexus ischiadicus blossgelegt und in die von Blut gereinigte Wunde ein Paar Tropfen concenrtirter Kochsalzlösung eingegossen. Es vergehen gewöhnlich 5—10 Minuten nach der letzten Operation, manchmal noch mehr, ehe die ersten Zuckungsanfälle in den Extremitäten zum Vorschein kommen; ich habe sogar Fälle gesehen, wo die Zuckungen vollkommen ausgeblieben sind. Prüft man andererseits von Zeit zu Zeit die Empfindlichkeit der hinteren Pfoten (durch das Kneifen mit der Pincette), während die hinteren Wurzeln in Berührung mit der Lösung bleiben, so merkt man eine starke Abnahme in der Hautempfindlichkeit, welche hier nur von der zerstörenden Wirkung des NaCl auf die Wurzeln abhängen kann, nicht eher als 5—10 Minuten nach dem Eingiessen der Kochsalzlösung eintreten. Werden dagegen die vorderen Spinalwurzeln mit einer concentrirten NaCl-Lösung benetzt, so kommen schon nach einigen Secunden sehr starke tetanische Krämpfe zu Stande.

Somit sind wir zu der Annahme geführt, dass *im Stamme des N. ischiadicus des Frosches ausser den excitomotorisch wirkenden noch andere centripetalleitende Fasern existiren müssen, deren Erregung sich durch eine Schwächung der Hautempfindlichkeit äussert.* Es muss weiter angenommen werden, dass *diese letzteren Nervenfasern ein dem motorischen Nerven ähnliches Verhaltens gegen die chemischen Reize zeigen, während die excitomotorischen Leiter sehr wenig durch diese Agentien erregbar sind*[1].

[1] Gegen diese Hypothese ist nur ein einziger Einwand möglich: man könnte nämlich versucht sein, die Unterschiede in dem Verhalten des sensiblen Nerven gegen die

Um diese Hypothese fester begründen zu können, habe ich nach den Unterschieden gesucht, welche möglicherweise in der topographischen Vertheilung der beiden Faserarten schon an der Peripherie existiren. Ich kam jedoch auf diesem Wege zu lauter negativen Resultaten: die hypothetischen Nervenfasern verzweigen sich gleich den excitomotorischen in der Haut und treten zugleich mit diesen in's Rückenmark durch die hinteren Wurzeln ein. Ob ein topographischer Unterschied zwischen den Rückenmarksbahnen für beide Arten von Erregungen zu finden ist, müssen weitere Untersuchungen zeigen, aber auch an der Peripherie müssen noch die Muskeln mit ihren sensiblen Nerven in derselben Richtung untersucht werden.

Versuche mit der chemischen Reizung der Haut wurden ausschliesslich an Fröschen *A* angestellt und bestanden in einem Eintauchen einer der hinteren Pfoten in die reizende Lösung. Die Aetz- und Chloralkalien haben sich auch hier als die wirksamsten reflexdeprimirenden Stoffe erwiesen; eine 20% Lösung von NaCl kann z. B. die Hautempfindlichkeit an allen Pfoten (wenn eine einzige in die Lösung eingetaucht ist) in 5 Min. nach Beginn der Reizung zum völligen Verschwinden (auf das Kneifen mit der Pincette) bringen. Diese Lösungen wirken excitomotorisch entschieden schwächer als 1% Lösungen von Schwefelsäure, ihr Einfluss auf die Hautempfindlichkeit ist dagegen ein viel stärkerer.

Ich habe weiter zu ermitteln gesucht, ob die in Folge chemischer Nervenreizung eintretende Aenderung in der Hautempfindlichkeit nur als Ausdruck einer allgemeinen Erregbarkeitsabnahme innerhalb der reflektorisch wirkenden Apparate aufzufassen ist. Zu dem Zwecke wurden von den beiderseits herauspräparirten N. ischiad. der Frösche *A* und *B* der eine Nerv einer chemischen Reizung mit concentrirter Kochsalzlösung unterworfen, der andere mit einzelnen Inductionsschlägen solcher Stärke behandelt, welche gerade hinreichend waren, um reflektorische Zuckungen während des Stadiums der grössten Depression der Hautempfindlichkeit auszulösen. Hierauf wurde die chemisch gereizte Nervenstrecke durch einen Schnitt entfernt und die Erregbarkeit des anderen Nerven abermals gemessen. Es ist mir einige Male gelungen, eine *kleine* Zunahme der Erregbarkeit nach Entfernung der chemisch gereizten Nervenstrecke sowohl an Fröschen *A* als *B* wahrzunehmen, diese Zunahme war aber *bei weitem nicht constant* und *entsprach* ihrer Grösse nach (namentlich an den Fröschen *A*) der so starken Abnahme der Hautempfindlichkeit *nicht im mindesten.* Diesen Umstand zu erklären bin ich nicht im Stande. Ebenso unverständlich ist mir der Umstand geblieben, warum Frösche *A* gegen die chemischen Reize viel empfindlicher in excitomotorischer Beziehung sich zeigen als Frösche *B*, während man bei einer elektrischen Reizung der sensiblen Nerven gewöhnlich das Umgekehrte findet. Möglicherweise sind hierbei dieselben dunklen Verhältnisse im Spiele, in Folge deren die Haut eines Frosches nach seiner Köpfung gegen die chemischen Reize empfindlicher wird, für die tactilen Eindrücke dagegen weni-

---

elektrischen und chemischen Reize auf die Verschiedenheit der Erregungsvorgänge in dem Nerven in diesen zwei Fällen zurückzuführen. Dieses wäre aber wiederum eine Hypothese, und zwar eine sehr wenig erklärende, während die oben ausgesprochene Voraussetzung, ohne in sich etwas Unwahrscheinliches zu schliessen, alle Resultate der chemischen Reizung eines sensiblen Nerven erklärlich macht.

ger erregbar. Möglich ist es sogar zu denken, dass die ganze Summe von Erscheinungen bei chemischer Reizung der sensiblen Rückenmarksnerven nur auf einer Verschiedenheit in dem Verhalten der tactilen und der schmerzerregenden Nervenfasern gegen die chemischen Reize beruht.

Es mag mir zum Schlusse dieses Paragraphen noch folgende Bemerkung gestattet sein. Es ist allgemein bekannt, dass die Haut des Frosches, besonders an den hinteren Pfoten, eine höchst bedeutende Empfindlichkeit gegen Säuren und Alkalien besitzt. Nach einigen Versuchen, die ich in dieser Richtung angestellt habe, ist diese Empfindlichkeit bei weitem grösser als diejenige der Muskelsubstanz gegen die entsprechenden Stoffe nach den Versuchen von Herrn Dr. Kühne (Ueb. dir. u. indir. Muskelreiz. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1859). Lösungen von Aetzkali und ClH von 0,5 pro Mille lösen an allen Fröschen ohne Ausnahme, besonders wenn diese geköpft sind, reflektorische Bewegungen aus. Die maximale Verdünnung für die alkalischen Flüssigkeiten kann einen kaum glaublichen Grad von 1 Th. Substanz auf 4 000 Th. Wasser erreichen, ohne dass die Flüssigkeiten die reizende Eigenschaft einbüssen. Solche Lösungen erregen aber die Haut nur ausnahmsweise, und zwar nur an den geköpften Fröschen. Säurelösungen von 1 Th. auf 3000 Th. Wasser habe ich einige Male ebenfalls noch als wirksam gefunden.

Stellt man dieses Verhalten gegen die Säuren und Alkalien der grossen Unempfindlichkeit (in excitomotorischer Beziehung) der sensiblen Rückenmarksnerven gegen dieselben Agentien zur Seite, so wird man zu der Annahme genöthigt, dass in der Haut des Frosches specifische Nervengebilde existiren müssen, und dass die schwachen chemischen Reize erst durch deren Vermittelung auf die excitomotorischen Nervenfasern wirken können. Möglicherweise sind diese Gebilde dieselben, welche der Aufnahme der tactilen Eindrücke vorstehen.

§ 18. Die hinteren Spinalwurzeln des Frosches sind für die Reizungsversuche schon ihrer Kürze wegen sehr unbequem, zieht man aber noch den Umstand in Betracht, dass sie an der Luft sehr rasch vetrocknen, wenn man ihre centralen Stücke (nach vorheriger Durchschneidung der Wurzeln) aus dem Wirbelkanal herauszieht, so wird man erklärlich finden, dass ich mich zum Zwecke der Wurzelreizung eines anderen Verfahrens bedienen musste, welches darin bestand, dass die ganze blossgelegte hintere Hälfte der Lumbalanschwellung des Rückenmarks sammt ihrer Wurzeln mit der zu untersuchenden Lösung begossen wurde. Der Versuch, den ich oben als einen Beweis der Immunität der excitomotorischen Fasern gegen die chemischen Reize angeführt habe, zeigt ohne weiteres, dass ich zur Anwendung dieses für den ersten Anblick so groben Verfahrens berechtigt war. Um dennoch ganz sicher zu sein, dass die bei der chemischen Reizung der hinteren Rückenmarkshälfte eintretenden Bewegungen durch die Erregung der hinteren Wurzeln herbvorgebracht sind, müssen die letzteren vor dem Eingiessen der reizenden Flüssigkeit auf einer Seite durchschnitten und nur solche Bewegungen in's Auge gefasst werden, welche zuerst nur auf dieser Seite zum Vorschein kommen (es ist nämlich bekannt, das der Nerv durch die chemischen Reize vom Querschnitte aus überhaupt viel leichter erregbar ist, als von der Seitenoberfläche).

Solche Versuche, welche ausschliesslich an geköpften Fröschen angestellt worden sind, ergaben als allgemeines Resultat ein mit dem Ischiadicusstamme gleiches Verhalten der hinteren Wurzeln gegen die chemischen Reize. Chloralkalien lösen fast immer excitomotorische Effekte aus und zwar zuerst auf der Seite, wo die Wurzeln durchschnitten worden sind; Glycerin wirkt in excitomotorischer Beziehung schon viel schwächer, verdünnte Mineralsäuren und Salze der schweren Metalle wirken auf die Wurzeln gar nicht. Nur mit den Alkalien und starken Säuren misslingen diese Versuche, weil diese Substanzen zugleich mit den Wurzeln die centralen Gebilde des Rückenmarks sehr rasch afficiren. Man sieht es am deutlichsten beim Benetzen der hinteren Hälfte der Lumbalanschwellung mit Ammoniak, welcher weder die hinteren, noch die vorderen Spinalwurzeln (die ersteren excitomotorisch) erregt und dennoch die stärksten tetanischen Krämpfe in den hinteren Extremitäten fast sogleich nach der Berührung mit der Rückenmarksoberfläche auslöst. Dieselbe Wirkung, nur in einem schwächeren Grade, kommt noch dem Sublimat zu.

Man sieht schon aus diesen vereinzelten Thatsachen, dass die centralen Nervengebilde ein von den Nervenfasern vollkommen verschiedenes Verhalten gegen die chemischen Reize zeigen müssen.

Ich habe diesen interessanten Gegenstand nicht weiter verfolgt, konnte mich aber nicht enthalten, einige Versuche in dieser Richtung an den mittleren Hirntheilen des Frosches anzustellen.

Als Reizungsort wählte ich den Querschnitt der thal. optici, weil von hieraus die reflexdeprimirenden Effekte sowohl als die Hemmungserscheinungen an den Lymphherzen, am leichtesten zu erzielen sind, und zweitens weil die Frösche sich bei einem an dieser Stelle geführten Schnitt vollkommen ruhig verhalten (die Frösche wurden namentlich in einer frei sitzenden Lage mit den entblössten hinteren Lymphherzen der Gehirnreizung unterworfen). Die Reflexstärke wurde nur mittelst des Kneifens der hinteren Pfoten geprüft.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Versuche bestehen im Folgenden:

1) Die ersten Effekte einer überhaupt wirksamen Reizung sind immer die hemmenden; die motorischen Wirkungen kommen erst später.

2) Die am meisten wirksamen Stoffe, sowohl in hemmender als in motorischer Beziehung sind die Alkalien; hierauf folgen ihre Chlorverbindungen.

3) Glycerin im concentrirten Zustande übt absolut keine hemmende Wirkung aus.

4) Chlorbarium scheint specifisch auf die centralen Hemmungsgebilde der Lymphherzen zu wirken: es deprimirt die Reflexe in den hinteren Extremitäten unbedeutend, während die Lymphherzen unter dem Einflusse dieser Substanz einen anhaltenden Stillstand zeigen.

5) Sublimat wirkt hemmend.

Bedenkt man, dass das Glycerin vom N. ischiad. aus eine reflektorische Depression der Hautempfindlichkeit auslösen kann und dass eine solche Wirkung dem Sublimat in keiner Weise zukommt, so folgt aus den in 3 und 5 angegenbenen Thatsachen ohne Weiteres, dass die in Folge der chemischen Reizung des Gehirns eintretenden Hemmungen einer Erregung centraler Nervengebilde zugeschrieben werden müssen. Dieses gilt auch für

den Fall, wo die Thalami opt. mit Kochsalz gereizt werden, weil die Hemmungen überhaupt viel rascher von dem gereizten Gehirn als von dem gereizten N. ischiad. aus zum Vorschein kommen.

Bedenkt man ferner, wie schwer die sensiblen Nervenfasern durch die chemischen Agentien excitomotorisch erregt werden, so wird jedem klar, dass die bei einer chemischen Reizung des Gehirns eintretenden Krämpfe ebenfalls aus einer Erregung centraler Nervengebilde abgeleitet werden müssen.

Indem ich den ganzen thatsächlichen Inhalt dieser Untersuchung übersehe, erblicke ich folgenden Widerspruch zwischen den früheren und den jetzigen Angaben über das Verhalten der Hemmungscentra (im Gehirn) gegen die sie treffenden Reizungen. Herr Stud. Paschutin hat bekanntlich gefunden (Neue Vers. am Hirn u. Rückenm. d. Frosch. Berl. 1865), dass wenn man die mittleren Hirntheile des Frosches mit Inductionsströmen solcher Stärke reizt, welche keine Bewegungen im Thierkörper auslösen, die mit dem Beginn der Reizung sogleich eintretende Schwächung der Hautempfindlichkeit gegen die Säurelösungen alsbald wieder verschwindet. Dieses Verschwinden der Hemmung wurde von uns damals als eine Folge der Ueberreizung der Hemmungsgebilde aufgefasst, weil wir zu jener Zeit überhaupt nur die Effecte einer *schwachen* Gehirnreizung kannten. Jetzt bekomme ich aber ganz unzweideutige Hemmungserscheinung auch bei einer viel stärkeren Reizung des Gehirns (sowohl bei einer directen Reizung, als von der Peripherie aus) zu sehen, und zwar sind die Hemmungserscheinungen in dem letzteren Falle sogar viel stärker ausgesprochen, als die früher beobachteten. Unter diesen Bedingungen kann die früher vorausgesetzte Ueberreizbarkeit der Hemmungscentra natürlich nicht mehr aufrecht erhalten bleiben: das Factum, welches zu dieser Voraussetzung Veranlassung gab, gehört entweder in dieselbe Kategorie mit dem oben erwähnten flüchtigen diastolischen Stillstand der Lymphherzen in Folge einer schwachen elektrischen Reizung des N. ischiad.; oder rührt vielleicht davon her, dass die Hemmungscentra möglicherweise die Fähigkeit besitzen, unter dem Einflusse einer schwachen elektrischen Reizung in eine periodische Thätigkeit zu gerathen, und dass Herr Paschutin bei seinen Versuchen nur eine einzige Periode dieser Erscheinung beobachtet hat. Jedenfalls ist der Widerspruch, wie man sieht, kein principieller.

Am Schlusse erfülle ich eine angenehme Pflicht, indem ich meinem hochgeehrten Freunde Herrn Prof. Rollet meinen herzlichen Dank ausspreche für die liebenswürdige Aufnahme, welche ich, während ich diese Arbeit ausführte, in seinem Laboratorium fand.

GALVANISCHE ERSCHEINUNGEN AN DEM VERLÄNGERTEN MARKE DES FROSCHES.

1. Für das Gelingen der nächst zu beschreibenden Versuche ist ein möglichst schonendes Herauspräpariren der cerebrospinalen Axe unumgänglich nöthig; desshalb mag zuerst das vivisectorische Verfahren, dessen ich mich bediente, beschrieben werden.

Um die Grausamkeit der Operation zu mildern, pflege ich gleich nach Eröffnung der Schädelhöhle die Hemisphären abzutragen; eröffne hierauf möglichst weit den Wirbelkanal seiner ganzen Länge nach und gebe dem Thiere die Zeit, sich von der Erschütterung zu erholen. Nun werden der Reihe nach folgende kleine Operationen vorgenommen: Excision oss. coccyg., Unterbindung der Aorta und Herauspräpariren beider Ischiadicusnerven sammt ihrer Plexus. Hierbei ist es sehr vortheilhaft, auf die unteren durchschnittenen Enden der Nerven Fadenligaturen anzulegen, um diese Enden leicht erkenntlich zu machen. Dem Herauspräpariren der Axe geht das Emporheben des mittleren Theiles des Rückenmarkes voraus. Man erreicht dieses durch seitliches Einführen in den Wirbelkanal, in der Mitte zwischen beiden Anschwellungen des Rückenmarks, einer Stecknadel und durch gehörige Senkung ihres spitzen Endes mit gleichzeitigem Vorschieben der Spitze gegen das Rückenmark zu. Der mittlere Theil des Rückenmarkes überbrückt alsdann die Stecknadel, und nun ist es sehr leicht, eine zweite Nadel hinter der ersten unter das Rückenmark zu schieben. Hierauf pflege ich die hinteren Brachialwurzeln durchzuschneiden; sonst macht das Thier bei dem Herausnehmen der Axe zu starke Bewegungen. Verschiebt man jetzt die hintere Nadel parallel mit sich selbst nach hinten, so wird die ganze hintere Rückenmarkshälfte auf das schonendste aus dem Wirbelkanal emporgehoben. Nun werden beide ossa iliaca durchschnitten; die obere Hälfte des Beckens sammt dem unteren Theile der Wirbelsäule von den Weichtheilen abgelöst und die Wirbelsäule auf der Höhe der hinteren Nadel durch einen Scheerenschnitt getrennt. Das Conserviren der vorderen Beckenhälfte und des untersten Theiles der Wirbelsäule ist leider unvermeidlich, wenn man die Verbindung der cerebrospinalen Axe mit den Ischiadicusnerven intact erhalten will. Andererseits leistet aber dieses Stück, welches ich fortan mit dem Namen «Beckenstück» bezeichnen werde, insofern gute Dienste, als es den Erregbarkeitszustand der Axe zu beurtheilen gestattet und bei dem Herausnehmen der letzteren wie ein indifferenter Griff dienen kann. Die letzte Operation glaubte ich erst mit Hülfe der vorderen Nadel, d. h. durch allmähliches Verschieben derselben nach vorn mit gleichzeitiger Durch-

trennung der Nervenwurzeln, bewerkstelligen zu können; an der R. temporaria, mit welcher ich arbeitete, erwies sich aber dieses als unmöglich, wegen einer bedeutenden Verengerung des Wirbelkanals gleich oberhalb der Brachialanschwellung. Desshalb war ich genöthigt, die Operation in der Weise vorzunehmen, wie man es mit den Ischiadicusnerven thut.

Die Operation ist als vollkommen gelungen zu betrachten, wenn die jetzt folgende Abtrennung der mittleren Hirntheile von dem verlängerten Marke *an der sichtbaren oberen Grenze des letzteren eine* Zuckung in den Muskeln des Beckenstückes auslöst. Das Fehlen einer solchen Zuckung bedeutet aber noch nicht, dass die Präparation misslungen ist, da dem herauspräparirten verlängerten Marke die Fähigkeit zukommt, sich von den Erschütterungen zu erholen.

Hat man bei den Versuchen keine Reizung der Nerven in Voraussicht, so präparirt man aus den sogleich angeführten Gründen die Axe dennoch in Verbindung mit dem Beckenstück (Aortenunterbindung ist alsdann unnöthig). Letzteres wird erst dann abgetrennt, wenn die Axe auf den Ableitungselektroden schon fixirt ist.

Die Bussole mit Spiegelablesung, deren ich mich bediente, hat die Wiedemann'sche Form und besitzt eine sehr hohe Empfindlichkeit: ruhender Nervenstrom giebt oft Ablenkungen von 500 Sc. (Abstand der Scala von der Bussole 2 M.). Die Aperiodicität des Magneten ist auch eine sehr vollkommene. In allen Versuchen bediente ich mich beider Rollen und zwar beide ganz aufgeschoben; desshalb musste die Compensation so angeordnet werden, dass der compensirende Stromzweig die abgeleitete Axenstrecke durchfloss. Die Länge der Ableitungsstrecke enstprach in allen Beobachtungen an dem verlängerten Marke der mittleren Länge dieses Organes, war also durchschnittlich 3—4 mm lang. Ueberall, wo die Ableitungsweise unerwähnt bleibt, berührte die Längsschnittelektrode die vordere resp. die untere Axenoberfläche.

Die feuchte Kammer ist bei diesen Versuchen noch unentbehrlicher als bei denjenigen am Nerven, denn die galvanischen Erscheinungen an den Centralorganen, bei der grösseren Empfindlichkeit der letzteren gegen alle äusseren Einflüsse (Luftzüge, Erschütterungen u. s. w.), sind um vieles vergänglicher als die entsprechenden Erscheinungen an Nerven.

2. Um sich ein möglichst klares Bild von den galvanischen Erscheinungen an dem verlängerten Marke zu v rschaffen, muss zum Galvanometer der freie Querschnitt und ein Punkt der vorderen Oberfläche dieses Organes abgeleitet werden. Die primäre Ablenkung erfolgt alsdann in derselben Richtung wie beim Nerven oder beim Muskel bei entsprechender Ableitungsweise. Die Grösse dieser Ablenkung ist höchst unbeständig, steht jedoch durchschnittlich zwischen denen, welche dem Längs-Querschnittstrome eines Nerven und demjenigen eines m. gastrocnemius entsprechen. Gleich nach der Compensation der Ablenkung sieht man Verschiedenes: zuweilen, und zwar wenn die Ableitung und Compensation möglichst rasch nach dem Anlegen des Querschnittes geschah, fährt der Magnet fort sich im Sinne des ruhenden Stromes zu bewegen; zuweilen findet man denselben einige Augenblicke ruhig stehen; am öftersten trifft man jedoch eine langsame Bewegung des Magneten im Sinne des compensirenden Stromes, welche mit der Zeit

immer rascher und rascher wird. Zu dieser mehr oder weniger stetigen Abnahme der primären Ablenkung gesellen sich bald merkliche Stösse oder Beschleunigungen der Bewegung (im Sinne des compensirenden Stromes), welche allmählich in solchem Grade an Stärke zunehmen, dass sie zuletzt die Form wahrer, kurz ablaufender negativer Schwankungen annehmen, indem jetzt jede solche Schwankung von einem Rückschwunge des Magneten begleitet wird. Die Abnahme der primären Ablenkung dauert noch jetzt fort, sie verlangsamt sich jedoch allmählich bis zur Undeutlichkeit und nun treten die kurzen negativen Stromesschwankungen in voller Schärfe hervor. Da dieselben ohne jegliche wahrnehmbare äussere Ursache entstehen, werde ich sie kurzweg *spontane Stromesschwankungen* oder auch *spontane Entladungen* nennen. Mit dem letzten Namen will ich jedoch keineswegs die Natur des galvanischen Vorgangs selbst, sondern den explosionsartigen Charakter des dem letzteren zu Grunde liegenden Processes bezeichnen[1]. Manchmal entstehen nämlich die spontanen Schwankungen mit solcher Plötzlichkeit, das man als solche sogar Ablenkungen von 2—3 Sc. leicht erkennt. Sonst beginnen die Entladungen mit einem langsamen Vorschreiten des Magneten, welches mehr oder weniger rasch in einen beschleunigten Schwung übergeht. Nicht selten wird die der Entladung entsprechende negative Schwankung durch einen kurzen Stillstand unterbrochen, worauf der Magnet weiter schwingt. In anderen Fällen wird im Gegentheil der Rückschwung des Magneten, ehe der letztere seine Ruhelage erlangt hat, durch einen neuen Stoss im Sinne der negativen Schwankung unterbrochen. Ueberhaupt ist das periodische Auftreten der Entladungen so unbeständig und unregelmässig von einem Präparate zum anderen, dass es sehr schwer ist eine bestimmte Gesetzlichkeit in der Reihenfolge der Erscheinungen aufzudecken. Folgendes ist nur ziemlich constant: einer in der Reihe ausschliesslich starken Schwankung folgt entweder eine lange Pause oder eine schwache Entladung nach[2]. Die Zeitdauer, während welcher man die Schwankungen beobachten kann, ist ebenfalls sehr variabel, indem dieselbe zwischen einzelnen Minuten bis über ½ St. schwankt.

Zur Erläuterung des Gesagten mögen einige Beobachtungen als Beispiele angeführt werden. Nrr. 1, 2, 4 und 5 geben die Grenzen an, zwischen welchen die den spontanen Schwankungen entsprechenden Ablenkungen (in Sc.) sich bewegen; während der Vers. 3 sozusagen das mittlere Niveau der Erscheinungen darstellt. Nebenbei ist die Zeitdauer angeführt, während welcher die Schwankungen in voller Reinheit beobachtet waren.

3. In dem soeben angeführten allgemeinen Bilde lassen sich folgende 3 charakteristische Punkte unterscheiden: die Zunahme des ruhenden Stro-

---

[1] Die Vorstellung, dass die Nervencentra die Fähigkeit besitzen, sich mit der Energie zu laden, ist, so viel ich weiss, in der Physiologie ziemlich geläufig. Die von einem Nervencentrum herausgehende Erregung kann aber alsdann als eine *Entladung* aufgefasst werden. Weiter beweise ich ganz sicher, dass den spontanen Stromesschwankungen ebensolche Erregungen in dem verlängerten Marke zu Grunde liegen, desshalb scheint mir das Wort «Entladung», in diesem allgemeinen Sinne gebraucht, vollkommen am Platze zu sein.

[2] Uebrigens liess ich diese Seite der Erscheinungen insofern unbeachtet, als ich weder die Nacheinanderfolge der Schwankungen in der Zeit, noch die Dauer jeder einzelnen Entladung notirte.

Tabelle I

Nr.	Spontane Schwankungen	Im Laufe von
1	12 18 18 12 18	2′
2	19 13 13 15	1,5′
3	25 27 31 30	1′
4	62 86 101 89 86 38 41	3′
5	110 73 73 70 70 65 27 42 51 32 10 35 35 54 32	7′

mes, die darauf folgende *rasche* Abnahme desselben, und die periodischen spontanen Schwankungen.

Die erste von diesen Erscheinungen habe ich nicht untersucht, weil dieselbe in meinen Versuchen nur zuweilen vorkommt, immer flüchtig ist und nie denjenigen Grad erreicht, welche Herr *Du Bois-Reymond* an den Froschmuskeln beobachtet hat[1]. Nimmt man als Grund der Erscheinung auch für unsern Fall die Säurung des Querschnittes an, so würde man schliessen müssen, dass hier die Säurung sehr rasch nach der Entblössung des Querschnittes eintritt und in sehr kurzer Zeit die maximale Höhe erreicht.

In der Abnahme der primären Ablenkung spielt das Absterben des Organes unzweifelhaft die erste Rolle, kann jedoch nicht als die einzige Ursache der Erscheinung betrachtet werden. Später, am Schlusse des § 14, führe ich die Gründe an, welche darauf hindeuten, dass in dem Absterben der Centralorgane vom Querschnitte aus Bedingungen zur stetigen Erregung derselben liegen und dass die letztere an dem Rückgange des Magneten theilnimmt. Einstweilen kann ich zu Gunsten des Gesagten nur folgendes anführen. An dem verlängerten Marke entbluteter und unerregbarer Frösche ist die Abnahme der primären Ablenkung ebenfalls vorhanden, doch bewegt sich jetzt der Magnet bei weitem nicht so rasch wie an den erregbaren Präparaten.

Die periodischen spontanen Stromesschwankungen sind offenbar das Interessanteste in den galvanischen Erscheinungen an dem verlängerten Marke des Frosches; auch betrifft alles nachfolgende nur die Erscheinungsweise dieser Schwankungen.

4. *Die Stärke der Entladungen steht in keinem direkten Zusammenhang mit der Grösse der primären Ablenkung.*

Bei Ableitungen des verlängerten Markes vom Längs- und Querschnitte kann man allerdings keine directe Ueberzeugung gewinnen, ob der aufgestellte Satz richtig ist, denn die Entladungen tragen in diesen Fällen den Charakter negativer Schwankungen des Längs-Querschnittstromes. Indirect lässt sich aber eine solche Ueberzeugung leicht gewinnen. Im nächstfolgenden § 5 findet man nämlich die Beweise angeführt, dass die Lebhaftigkeit

[1] Gesamm, Abhandl., Leipzig 1877, S. 199.

der Entladungen in einem direkten Zusammenhange mit der Erregbarkeit des herauspräparirten Organes steht. Andererseits sprechen die entbluteten und unerregbar gewordenen Frösche[1] sehr klar dafür, dass die Erregbarkeit des verlängerten Markes in keinem direkten Zusammenhange mit der Grösse der Längs-Querschnittströme steht. Am deutlichsten wird jedoch unser Satz durch symmetrische Ableitungen des verlängerten Markes der Quere nach (namentlich von rechts nach links) oder durch ebensolche Ableitungen des Rückenmarkes (letzteres nur unter der Bedingung, wenn das Rückenmark im Zusammenhange mit dem verlängerten Marke bleibt) gleich unterhalb der Brachialanschwellung bewiesen. Die primären Ablenkungen sind alsdann gewöhnlich unbedeutend, nicht selten gleich Null; die spontanen Schwankungen sind aber dennoch vorhanden und können eine bedeutende Höhe erreichen. Bei solchen Ableitungen sieht man ausserdem die Entladungen den Charakter bald negativer, bald positiver Schwankungen in Bezug auf die primäre Ablenkung annehmen.

Ehe ich die Zahlenbelege für das Gesagte anführe, möchte ich noch der Form erwähnen, in welcher die meisten der hierhergehörigen Versuche angestellt sind. Um sich eine Vorstellung von der Lage der Elektromotoren und von der Richtung der Entladungen im verlängerten Marke zu bilden, habe ich partielle Zerstörungen dieses Organes unternommen und die Wirksamkeit verschiedener Ableitungsweisen (in Bezug auf die Entladungen) untereinander verglichen. Es wurden nämlich folgende 3 Ableitungsweisen des v. M. paarweise zusammengestellt: A—freier Querschn. u. Punkte d. vord. Oberfl.; B—fr. Querschn. u. Punkte d. hint. Oberfl.; C—symmetr. Ableit. d. Seitenoberfl. von rechts nach links. Durch A, B und C sind in der nächstfolgenden Tabelle dieselben Ableitungsweisen bezeichnet. D ist die symmetrische Querableitung des Rückenmarkes. Mit dem Zeichen + und — vor den spontanen Entladungen entsprechenden Ablenkungen ist gemeint, dass letztere in Bezug auf die primäre Ablenkung entweder positiv oder negativ waren.

Solche Versuche in viel grösserer Anzahl angestellt würden vielleicht im Stande sein, einiges Licht in die complicirte Frage über die Anordnung der Elektromotoren im Verl. M. zu werfen. Einstweilen ergiebt sich aber aus den bis jetzt angestellten nur ganz deutlich der im Kopfe des Paragraphen stehende Satz und eine in praktischer Hinsicht wichtige Thatsache, dass in Bezug auf die spontanen Entladungen die Anordnung A von allen die wirksamste ist.

Was die partiellen Zerstörungen des v. M. anbelangt, so ergaben dieselben folgendes:

1) *Liegt die Entladungsregion nur in der oberen Hälfte des verlängerten Markes*, und

2) schwächt die schichtweise Abtragung des v. M. von vorn nach hinten die Entladungen bedeutend ab.

5. *Das Dasein der Entladungen ist an die Organisation des verlängerten Markes, resp. an seine physiologischen Eigenschaften gebunden.*

---

[1] Bei diesen Versuchen muss man erst den Wirbelkanal eröffnen, das Thier sich erholen lassen und erst darauf das Herz ausschneiden.

Tabelle II

Nr.	Prim. Abl.	Spontane Schwankungen.
6	—	A —32, —32, —27 B —5, —9, —8, —7 A —23, —21 B —2, —3 A —18, —31
7	—	B —16, —11, —13, —8, —14 A —23, —26, —30, —30 B —8, —9, —14, —11, —14 A —27, —21, —22, —20, —25
8	61 >300 57	C +21, +22, +16, +8, +5 A —53, —65, —32, —52, C —14, —20, —28, —39, —6, —16
9	217 308	C —63, —61, —41, —14, —22 A —25, 0 0 0 0
10	33 nimmt währ. d. Versuchs bis Null ab.	C —16, —9, —5, —31, —29, —10
11	10	D —17, —14, —2, —2, +7, +17, —12

Dieser allgemeine Satz wird durch folgende speciellere bewiesen.

a) Die Längs-Querschnittströme des Rückenmarkes zeigen keine Spur von spontanen Schwankungen, obgleich die Erregbarkeit dieses Theiles der cerebrospinalen Axe bei meiner Präparationsweise viel weniger leidet, als diejenige des v. M.

b) Die spontanen Schwankungen stehen mit der Erregbarkeit des herauspräparirten verlängerten Markes im innigsten Zusammenhange. Letzteres wird durch folgende Thatsachen bewiesen.

α) Oben bei der Besprechung der blutigen Operation habe ich des Zeichens erwähnt, nach welchem man beurtheilen kann, ob das herauspräparirte v. M. seine Erregbarkeit conservirt hat. Löst nämlich die Abtrennung dieses Organes von den mittleren Hirntheilen eine Zuckung in den Muskeln des Beckenstückes aus, so ist das v. M. ganz sicher erregbar. *Aber gerade in solchen Fällen treten die Schwankungen am lebhaftesten hervor.*

β) An frisch gefangenen Frühlingsfröschen sind die Entladungen durchschittlich lebhafter als an den matten Winterthieren.

γ) Die Entladungen werden endlich in allen denjenigen Fällen in höchstem Grade geschwächt (oder ganz vermisst), wo die Erregbarkeit des v. M. bekanntermassen stark gesunken ist, — z. B. an den entbluteten Fröschen mit Resten der reflektorischen Motilität, auch an den stark mit Alkohol narkotisirten Thieren.

6. *Die periodischen Entladungen sind nichts weiter als der galvanische Ausdruck eben solcher Erregungen in dem von den mittleren Hirntheilen abgetrennten verlängerten Marke.*

Es ist in der That längst bekannt, dass Frösche, denen das v. M. von den mittleren Hirntheilen abgeschnitten ist, entweder unaufhörlich kriechen,

oder eine durch unregelmässige Ruhepausen unterbrochene Reihe von Bewegungen ausführen — ersteres, wenn der Schnitt oberhalb des kleinen Gehirnes geführt ist, letzteres, wenn derselbe gleich unterhalb dieses Organes fällt;—dass in den so behandelten Thieren, mit anderen Worten, das v. M. periodische Erregungen zeigt, welche scheinbar ohne jeden äusseren Anlass entstehen. In meinen Versuchen trifft der Schnitt eine von diesen beiden Stellen, folglich sind die Bedingungen zur Entwickelung spontaner Erregungen gegeben.

Die Existenz solcher Erregungen in dem herauspräparirten v. M. wird ferner durch folgenden Versuch bewiesen. An einem Präparate, welches bei der Ableitung des v. M. ausgiebige Schwankungen giebt, zeigt der Rückenmarkstrom ebenfalls spontane negative Schwankungen, wenn man das in Verbindung mit dem v. M. bleibende Rückenmark vom Längs- und Querschnitte ableitet. Diese Thatsache kann offenbar nur durch die Annahme erklärt werden, dass die in dem v. M. entstehenden spontanen Erregungen sich längs des Rückenmarkes fortpflanzen.

Neben diesen Thatsachen besitze ich noch solche Beobachtungen, welche unsern Satz direct beweisen. An sehr erregbaren Präparaten, in welchen das Rückenmark im Zusammenhange mit dem Beckenstücke geblieben ist, sieht man nämlich sehr oft ein Zusammenfallen starker Stromesschwankungen mit den Muskelzuckungen des letzteren.

7. *Die den starken Stromesschwankungen zu Grunde liegenden Erregungen müssen als periodische Reihen von Impulsen aufgefasst werden.*

Die den starken Stromesschwankungen entsprechenden Muskelzusammenziehungen des Beckenstückes sind nämlich stets tetanisch. Die weiter unten zu besprechenden Versuche mit der Erregung des v. M. durch musikalische Töne sprechen ebenfalls zu Gunsten dieser Auffassung, indem kurz angegebene Töne sich unwirksam erweisen. Endlich ist es mir längst bekannt[1], dass die cerebrospinale Axe des Frosches, analog den sensiblen Nerven, gegen directe Reize in Form einzelner Inductionsschläge verhältnissmässig stumpf ist und zu gleicher Zeit die Fähigkeit besitzt, die Effecte einzelner Schläge zu summiren. Uebrigens ist die volle Entscheidung der Frage erst von einer hier leicht möglichen Anwendung des Capillarelektrometers zu erwarten.

8. Die Frage über die Entstehungsweise der Entladungen im v. M. fällt augenscheinlich mit der Frage zusammen, wie sich in diesem Organe nach seiner Trennung von den mittleren Hirntheilen die den Zwangbewegungen zu Grunde liegenden Erregungen entwickeln. Für die letzteren nimmt man bekanntlich, als die wahrscheinliche Ursache, diejenigen reizenden Einflüsse an, welche die Entblössung des Querschnittes der cerebralen Axe mit sich führt. Folglich muss hierin auch die Ursache der spontanen Stromesschwankungen gesucht werden. Leider ist es unmöglich, diese Abhängigkeit direct zu demonstriren, da wir weder die Natur der Reize noch die Mittel zur Abhaltung derselben von dem entblössten Querschnitte kennen. Durchschneidungen des Gehirns oberhalb des v. M. ergaben, dass nur die Schnitte an der oben erwähnten Grenze zwischen den mittleren Hirntheilen und dem v. M.

---

[1] Aus einer in meinem Laboratorium gearbeiteten und russisch abgefassten Inauguraldissertation.

Präparate mit starken spontanen Schwankungen liefern. So wie der Schnitt etwas oberhalb dieser Grenze geführt ist, sieht man nur schwache oder fast gar keine spontanen Entladungen, welche sofort nach der Entfernung des überflüssigen Stückes in ihrer gewöhnlichen Stärke erscheinen.

Ferner ist es für die Bedeutung unserer Versuche wichtig zu notiren, dass die Berührung des entblössten Querschnittes des v. M. mit der Tonelektrode keine bedingende Rolle in dem Entstehen spontaner Schwankungen spielt, da die letzteren, wie wir im § 6 sahen, auch dann zu Stande kommen, wenn anstatt des v. M. (welches dabei frei in der Luft liegend bleibt) das Rückenmark abgeleitet ist.

Nebst dem Absterben der Theilchen an dem Querschnitte können jedoch an der Erregung des v. M. noch andere Momente Theil nehmen; so z. B. die Vertrocknung des Präparates und die zufälligen Erschütterungen; insofern die Oberfläche der herauspräparirten cerebrospinalen Axe eine sehr hohe Empfindlichkeit gegen alle mechanisch wirkenden Insulte zeigt.

Von den Versuchen, die ich in dieser Richtung angestellt habe, verdienen diejenigen mit der erregenden Wirkung musikalischer Töne einer besonderen Erwähnung.

9. Da diese Beobachtungen eine sehr hohe Astasie des Magneten in Anspruch nehmen, muss für dieselben die feuchte Kammer sammt dem tonerzeugenden Apparate in ein von dem Galvanometer abgeschlossenes Zimmer entfernt werden. An sehr erregbaren Präparaten und bei der Einwirkung von starken durch die in der Militärmusik gebräuchlichen messingenen Blasinstrumente erzeugten Tönen kann man die Tonquelle um ein paar Meter von der Glocke der feuchten Kammer (diese darf in den Versuchen überhaupt nie abgenommen werden) entfernen. Laut gesungene Noten der menschlichen Stimme erfordern hingegen ein Tonangeben in der unmittelbaren Nähe der feuchten Kammer. Ferner wurde das das v. M. tragende Elektrodengestell gegen die Erschütterungen mittelst Kautschukröhren geschützt. Endlich ist bei diesen Versuchen noch der Umstand zu beachten, dass die Erwärmung der Glocke eine Veranlassung zum Entstehen von Thermoströmen giebt; folglich muss bei dem Tonangeben in der Nähe der feuchten Kammer der Luftstrom des Instrumentes resp. der menschlichen Stimme seitwärts von der Glocke gerichtet werden. Uebrigens sind die durch die Thermoströme bewirkten Ablenkungen sehr leicht von den durch die Töne als Reize erzeugten Stromesschwankungen zu unterscheiden. Die Bewegung des Magneten ist im ersten Falle eine langsam vorschreitende und überdauert die Zeit der Einwirkung des erwärmenden Luftstromes; während die Ablenkungen zweiter Art den Charakter mehr oder weniger plötzlicher und kurzer negativer Stromesschwankungen tragen, d. h. aus einer doppelten Bewegung des Magneten hin und zurück bestehen:

Als Reize dienten mir entweder die Töne der Blasinstrumente oder diejenigen der menschlichen Stimme. Das verlängerte Mark wurde in allen Versuchen vom Querschnitt und von der vorderen Oberfläche abgeleitet. Die Resultate waren folgende.

Ein einziger kurz angegebener Ton wirkt gar nicht; ein länger andauernder setzt den Magneten in Bewegung; am allerstärksten wirkt jedoch eine Reihe protrahirter Töne. Mit anderen Worten, die Effecte einzelner Einwir-

kungen summiren sich miteinander. Diese Effecte können jedoch an einem und demselben Präparate sehr verschieden ausfallen, da die Grösse der negativen Schwankungen von dem Zustande des v. M. im Momente der Toneinwirkung im höchsten Grade abhängig ist. Geschieht das Tonangeben gleich nach Beendigung einer starken spontanen Entladung, so variirt die Wirkung, von Null an bis zu den Ablenkungen von 8, 10, 12 Sc. Trifft dasselbe das Organ umgekehrt kurz vor dem Eintreten einer spontanen Schwankung, so gehen die kleinen Ablenkungen unmittelbar in die spontanen Entladungen über. Diese in den Versuchen sehr klar ausgeprägte Abhängigkeit der Effecte von den wechselnden Zuständen der Erregbarkeit des v. M. ist an und für sich schon genügend, jeden Verdacht zu beseitigen, dass das Electrodengestell durch die untergelegten Kautschukröhren von den Erschütterungen nicht in solchem Grade geschützt war, um die kleinen Verschiebungen des Organes auf den Elektroden mit den hieraus entstehenden täuschenden Schwankungen des Stromes auszuschliessen;—um so mehr, als man eine ebensolche Abhängigkeit der Erregungseffecte von den Zuständen des v. M. auch bei den weiter zu besprechenden Versuchen mit der Nervenreizung treffen wird. Die Unbeständigkeit der Effecte vereitelte aber andererseits alle Bemühungen, den Einfluss der Tonhöhe auf die Erscheinungen zu bestimmen; — um so mehr, als ich unter den Tönen der Contra -, der grossen und der ungestrichenen Octave keinen einzigen gefunden habe, der sich als völlig unwirksam erwiesen hätte.

Was den Mechanismus der Erregung des verlängerten Markes durch die Töne anbelangt, so muss derselbe höchst wahrscheinlich in den mechanischen Erschütterungen der ganzen Oberfläche der cerebrospinalen Axe durch die Luftschwingungen gesucht werden, da diese Oberfläche gegen alle mechanische Eingriffe höchst empfindlich ist. Sicher ist es aber jedenfalls, dass in diesen Erregungen klare Hinweisungen enthalten sind, wie ungeheuer schwach, als Stösse aufgefasst, jene den spontanen Erregungen zu Grunde liegenden Impulse sein müssen.

Indirecte Erregungen des verlängerten Markes

Für die Reizungseffecte an den Nervenstämmen hat man in dem galvanischen Verhalten der Nerven selbst und in den Thätigkeitsäusserungen der Muskeln zwei parallele Reihen, welche einander ergänzen und controlliren. Für die nächst zu beschreibenden galvanischen Reizungseffecte an dem v. M. besitzen wir hingegen nur höchst spärliche Beobachtungen zweiter Art. Es existirt allerdings eine systematisch durchgeführte Reihe von Beobachtungen über die excitomotorische Wirkung der elektrischen und chemischen Reizung sensibler Nerven am Frosche[1]; diese Versuche sind jedoch an Thieren angestellt, denen entweder das ganze Gehirn (sammt dem v. M.) oder nur die Hemisphären abgetrennt sind, während die jetzigen Beobachtungen streng genommen nur mit den excitomotorischen Wirkungen an Fröschen mit abgetragenen mittleren Hirntheilen parallelisirt werden könnten. Noch

[1] *J. Setschenow*, Ueber die elektrische und chemische Reizung der sensiblen Rückenmarksnerven des Frosches. Graz. 1868.

ungünstiger steht die Frage über die directe Reizung des v. M. und über die Erregungen desselben vom Rückenmark aus; hier hat man fast gar keine parallele Beobachtungen. Es ist somit kein Wunder, wenn man in dem Nächstfolgenden nebst grossen Lücken eine gewisse Willkürlichkeit in der Deutung des gewonnenen Materials treffen wird, namentlich in jenen Fällen, wo ich behufs der Erklärung gewisser Thatsachen mich dennoch auf die citirte Abhandlung berufe. Ein solches Zusammenstellen der jetzigen Versuche mit den früheren halte ich aus dem Grunde für gerechtfertigt, weil 1) die excitomotorischen Effecte an geköpften Fröschen und an Thieren mit abgetragenen Hemisphären im Grunde gleich sind (obgleich im ersten Falle das v. M. fehlt); und 2) weil in den excitomotorischen Effecten an den Fröschen mit entfernten Hemisphären die Thätigkeit des v. M. die erste Rolle spielt.

Die indirecten Reizungen des verlängerten Markes, welches in allen Versuchen vom Querschnitte und von der vorderen Obrfläche abgeleitet war, geschahen entweder von den beiden Ischiadicusnerven oder vom Rückenmarke aus. Im letzteren Falle wurden die stets unpolarisirbaren Elektroden des reizenden Stromes immer der vorderen Oberfläche des Rückenmarks applicirt. Als Reize dienten einzelne Inductionsschläge, Schliessungen und Oeffnungen der Kettenströme, sowie das Tetanisiren und das Polarisiren der Theile im Laufe einiger Minuten und in einigen wenigen Versuchen noch die chemische Reizung mit Kochsalz.

Zur Abkürzung der Beschreibung will ich erst das Gemeinsame in dem Verhalten des v. M. gegen kurz andauernde elektrische Reize anführen.

10. Für das Verständniss dieser Wirkungen ist es unumgänglich nöthig folgende 3 Umstände im Auge zu behalten:

a) ist der Zusammenhang des v. M. sowohl mit Ischiadicusnerven als mit den unteren Abtheilungen des Rückenmarks kein gleichmässig faseriger;

b) bietet das v. M. ein Organ dar, dessen Erregbarkeit sehr grossen Schwankungen in der Zeit unterliegt; und

c) sind die Ruhepausen zwischen den Entladungen so unregelmässig, dass man in den meisten Fällen nicht voraussagen kann, ob die nächstkommende Entladung sogleich oder nach Ablauf einiger Secunden erscheinen wird.

Dem entsprechend muss man die Beobachtungsreihen mit solchen Versuchen beginnen, wo die Reize (einzelne Inductionsschläge oder rasche Schwankungen der Kettenströme) die Nerven oder das Rückenmark gleich nach Beendigung einer spontanen Entladung treffen; und ferner nur solche Präparate gebrauchen, in denen die spontanen Schwankungen durch längere Pausen von einander getrennt sind.

Gleich nach Beendigung einer starken spontanen Entladung rufen die schwächsten von den wirksamen Reizen verschiedene aber stets unbedeutende Ablenkungen (zwischen 0 und 15 Sc.) in Form negativer Schwankungen hervor. Geschieht die schwache Reizung hingegen kurz vor dem Eintreten einer spontanen Entladung, so geht die kleine Ablenkung unmittelbar in die letztere über[1]. Für starke einzelne Inductionsschläge dauert das Verhalten unverändert fort; während die Wirksamkeit der Kettenströme

[1] Aehnliches haben wir oben bei der Einwirkung von Tönen gesehen.

(d. h. der Schliessungen und Oeffnungen derselben) mit ihrer Verstärkung in solchem Maasse zunimmt, dass man zuletzt in allen Perioden der Wirkung grosse, den spontanen Entladungen nicht nachstehende, dieselben sogar übertreffende, Schwankungen erhält. Ganz ebenso wirkt eine Reihe mehr oder weniger rasch aufeinander folgender Reizstösse, wenn man z. B. den inducirenden Kreis resp. den Kettenstrom mehr oder weniger rasch mit der Hand öffnet und schliesst.

Dem Sinne nach gehören alle diese Effecte in die Kategorie der s. g. reflektorischen Erregungen, da man an Fröschen, denen die mittleren Hirntheile entfernt sind, durch die entsprechenden Reizungen ganz sicher locomotorische Bewegungen auslösen kann. Hiermit müssen in die Erscheinungen die Thätigkeitsäusserungen der Nervencentra des v. M. involvirt sein, und dem entsprechend die Eigenthümlichkeiten der ersteren aus den Eigenschaften der thätigen Nervencentra abgeleitet werden. In meiner oben citirten Abhandlung habe ich festgestellt, dass sowohl die Locomotionscentra in den hinteren Hirntheilen als die reflektorischen Centra des Rückenmarks sich gegen die Nervenreizungen in Form einzelner steiler Stromesschwankungen sehr stumpf verhalten, namentlich im Vergleich mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels; ferner, dass diesen Gebilden im hohen Grade die Fähigkeit zukommt die Effecte einzelner schwacher Reize zu summiren; und endlich, dass starke einzelne Reize anstatt kurzer reflektorischer Zuckungen coordinirte Bewegungen zur Folge haben können. Die Analogie zwischen beiden Reihen von Erscheinungen ist somit eine vollkommene, denn auch das verschiedene Verhalten des v. M. gegen die Reize während der Ruhepausen zwischen den Entladungen ist leicht aus den jetzt gangbaren Vorstellungen über jene Eigenschaften des v. M. abzuleiten, welche die Periodicität seiner Erregungen erklären sollen. Diese Vorstellungen lassen sich in der That am einfachsten so formuliren: die Nervencentra des v. M. laden sich mit Energie unaufhörlich, entladen sich aber von Zeit zu Zeit, namentlich wenn die Ladung eine gewisse Höhe erreicht hat. So lange die Ladung zunimmt, steigt die Erregbarkeit des Organes mit, sogleich nach der Entladung sinkt aber die letztere auf einmal stark herunter.

11. Neben diesen gemeinsamen Seiten in den Wirkungen verschiedener Formen von elektrischer Reizung, giebt es auch einige Eigenthümlichkeiten in dem Verhalten des v. M. gegen die Kettenströme; namentlich wenn man die hierauf bezüglichen Thatsachen mit den bekannten Erscheinungen an den motorischen Nerven zusammenstellt. Erst will ich die Effecte der Nervenreizung an dem v. M. mit den factischen Grundlagen des Pflüger'schen Zuckungsgesetzes zusammenstellen.

Als «schwache Ströme» müssen in unserem Falle Ströme von 2 Daniell gelten, wenn man nämlich die Reize jedesmal sogleich nach geschehener Entladung wirken lässt (was übrigens bei diesen Versuchen unvermeidlich ist), denn erst bei dieser Stärke bringen die Schliessungen des Stromes *stets* deutliche Ablenkungen hervor. Es ist ferner für die Beständigkeit der Erfolge nöthig, die Oeffnungen erst dann vorzunehmen, wenn die durch die Schliessung hervorgebrachte negative Schwankung zu Ende ist. Auch dürfen die Beobachtungen nicht zu rasch auf einander folgen. Unter diesen Bedingungen erhält man stets eine Unabhängigkeit der Effecte von der Rich-

Tabelle III

Nr.	Vor der Reizung.	Strom absteigend		Strom aufsteigend	
		Schliessung	Oeffnung	Schliessung	Oeffnung
12	21, 4, 8, 8	**0**, 15, 12, 11, 8, 5, 9 **37**, 23, 19, 22, 4, 20	**19**, 4. 6. 6, 8, **15**, 16 **3**, 4, 20, 7, 25, 27	**28**, 10, 14, 7, 20, 18 **30**, 22, 17, 20, 17	**0**, 17, 21, 19 **0**, 16, 16
	45, 24, 23, 30, 32			**45**. 1. 20. 21. 24. 21. 20. 17. 21. 16.	**0**, 20, 15, 16, 16, 14, 14
13		**12**. 10. 10. 11. 16. 15. 15. 14. 12. 10. 10. 8. 9. 8. 11. 13. 14. 8. 4. 6. 9.	**26**. 5. 9. 3. 3. 8. 2. 9. 7. 3. 2. 0 0 0...		
14	42, 50, 42, 40	**12**, 34, 35, 4, 22, 28 **8**, 0 0 0	**66**. 9. 9. 12, 12, 18, 14 **54**, 16	**79**, 30, 20	**70**, 15, 27
15	50, 61, 96, 30, 45 54, 65, 43, 25	**22**, 20, 95, 66, 18, 43, 24, 24	**3**, 40, 23, 42, 58	**113**, 54, 32, 42, 46	**3**, 21, 45
16	25, 27, 31, 30	**15**, 21. 16. 22. 37. 17, 28. 16. 36 **68**, 63, 50, 75	**47**. 20. 6. 10. 18. 22, 20, 90, 60, 63, 63 **17** + **70**, 5, 64, 65	**120**, 20, 38, 60	**3**, 35, 72, 73
	20, 26, 30, 41	**60**, 28, 28, 30	**28**, 34, 20, 40	**78**	**0**, 53
17				**19**, 30, 34, 28 **14**, 25. 30. 29. 21. 18. 18. 15, 12. 15. 20, 18	**18**.14.33.33.33.19.28.24 **41**, 15, 45, 32
		40. 17. 40. 18. 21. 15. 14. 18. 16.	**22**, 6, 19, 15, 55		

tung des reizenden Stromes im Nerven und ein Ueberwiegen der Schlessungsablenkungen vor derjenigenden der Oeffnung. Die ersteren betragen gewöhnlich 10—15 Sc.; die letzteren 4—6 Sc. Man erhält mit anderen Worten für

«schwache Ströme» gleiche Schliessungs- und Oeffnungseffecte sowohl am Muskel als an dem verlängerten Mark bei der Polarisation der Nerven.

Viel umständlicher sind hingegen die Versuche mit «starken Strömen» im Pflüger'schen Sinne (3 Daniell), denn hier beginnt mit der Schliessung des Stromes in beiden Richtungen der Vorgang einer stetigen Reizung der cerebrospinalen Axe, welcher höchst unbeständige Schwankungen in der Reihenfolge der spontanen Entladungen mit sich bringt. Aus diesem Grunde ist es besonders schwer die Oeffnugserfolge richtig anzugeben. Wenn man jedoch viele Versuche mit möglichst einförmiger Vertheilung der Zeit zwischen Ruhe und Reizung anstellt, so lässt sich in den Erscheinungen eine gewisse Gesetzmässigkeit doch erblicken.

Als Beispiele führe ich einige Versuche an. Nrr. 12 und 13 sind bestimmt, die Thatsache der stetigen Erregung des v. M. durch Ströme beider Richtungen klarzulegen. In den Vers. 14, 15 und 16 ist so zu sagen die Norm der Erscheinungen angegeben. Endlich unterscheidet sich der Vers. 17 dadurch, dass in demselben ein in Vergleich mit allen übrigen (in diesen überall 3 Daniell) stärkerer Reizungsstrom (4 Daniell) angewandt wurde. In den Vers. 12, 13 und 14 dauerte ausserdem die Reizungs- und Rubezeit (d. h. die Zeit nach jeder Oeffnung des Stromes) 4′—5′; während dieselbe in den übrigen Versuchen zwischen 2′ und 3½′ schwankte. Ueberall sind die den Schliessungen und Oeffnungen entsprechenden Ablenkungszahlen fett gedruckt. Ueberall bedeutet die Trennung der Ablenkungszahlen durch Punkte, dass die diesen Zahlen entsprechenden Entladungen sehr häufig oder unaufhörlich geworden sind. Endlich ist noch in den Versuchen die durch die Stellung der Zahlen von links nach rechts angedeutete Nacheinanderfolge der Reizungen zu beachten. Dieses ist desshalb wichtig, weil die durch jede Schliessung des Stromes hervorgebrachte Aenderung in dem Zustande des v. M. nur mit dem dieser Schliessung unmittelbar vorangehenden Zustande des Organes verglichen werden darf. Für die Richtung des Stromes im Nerven behalte ich die alten Benennungen auf- und absteigend[1].

Die Thatsache der stetigen Erregung des verlängerten Markes während der Polarisation der Nerven durch Ströme beider Richtungen ist in dem Vers. 13 am schärfsten ausgeprägt; hier ebenso wie in den 2 letzten Schliessungsperioden des Vers. 17, drückt sich die Erregung in Form einer Beschleunigung der spontanen Entladungen mit mehr oder weniger merklicher Abnahme einzelner Ablenkungen aus. Dass dieser an die respiratorischen Effecte einer schwachen centripetalen Vagusreizung erinnernde Erfolg als eine Erregung aufzufassen ist, beweisen die im nächsten Paragraphen mitzutheilenden Versuche mit dem schwachen Tetanisiren der Ischiadicusnerven, in welchen man als Folge einer gewiss nie fehlenden *stetigen Erregung* des verlängerten Markes sehr häufig eine Frequenzzunahme der Entladungen mit einer Verringerung einzelner Ablenkungen zu sehen bekommt.

Eine Verstärkung der Entladungen während der Polarisation der Nerven trifft man hingegen sehr selten (in den angeführten Beispielen kommt dieses z. B. kein einziges Mal vor), und zwar betrifft diese Aenderung nie die ganze

---

[1] In unserem Falle müssten dieselben eher durch die Worte centripetal und centrifugal ersetzt werden.

Reihe von Entladungen im Laufe einer Periode, sondern eine einzige oder nur ein paar Ablenkungen.

Für die weitere Frage, ob die unmittelbaren Erfolge der Schliessungen und Oeffnungen des Stromes den Erforderniss n des Pflüger'schen Gesetzes für starke Ströme entsprechen, muss man einstweilen von dem Vers. 17 abstrahiren. Unter dieser Bedingung findet sich die meiste Uebereinstimmung mit diesem Gesetze in den Schliessungen und Oeffnungen des aufsteigenden Stromes. Die Effecte der absteigenden Polarisation weichen hingegen davon bedeutend ab und zwar sowohl für die Schliessungen als für die Oeffnungen des Stromes: weder die Unwirksamkeit der ersteren noch das Ueberwiegen der Oeffnungsablenkungen vor denjenigen der Schliessung ist constant. Von der oben erwähnten Thatsache ausgehend, dass Ströme von 2 Daniell auf die sensiblen Nerven nach Art «schwacher» Ströme wirken, glaubte ich die Hauptursache dieser Abweichung darin suchen zu müssen, dass die in den Versuchen 12—16 angewandten Ströme von 3 Daniell, welche in Bezug auf die motorischen Nerven als «starke» gelten, sich gegen die sensiblen als «mittelstarke» verhalten. Der Vers. 17 mit 4 Daniell überzeugte mich jedoch in der Unrichtigkeit dieser Vorraussetzung. Hier geschah die erste Schliessung in absteigender Richtung, die Reizung traf also den Nerv resp. die cerebrospinale Axe im Zustande normaler Erregbarkeit; und doch brachte die Reizung eine bedeutende Ablenkung hervor; das Ueberwiegen des Oeffnungseffectes vor demjenigen der Schliessung fehlte in diesem Versuche ebenfalls; endlich ergab sogar der aufsteigende Strom ein von dem Zuckungsgesetze abweichendes Resultat, und zwar zugleich mit deutlichen Zeichen einer stetigen Erregung des v. M. während der Polarisation.

Hieraus, in Verbindung mit dem, was oben in Bezug auf die Wirkung schwächerer Ströme angeführt ist, ergiebt sich:

1) dass die Uebereinstimmung mit dem Zuckungsgesetze überhaupt nur eine annähernde ist, indem dieselbe nur so lange dauert, als die polarisirenden Ströme noch zu schwach sind, um die cerebrospinale Axe stark und stetig zu erregen; und

2) dass die Erregung der sensiblen Nerven durch die Schliessungen starker absteigender Ströme eine normale Erscheinung ist.

12. Indem ich jetzt zu der Polarisation des Rückenmarks übergehe, muss ich am allerersten ausdrücklich bemerken, dass der polarisirende Strom stets den vorderen Rückenmarkssträngen zugeführt war, während die Ableitung des v. M. von dessen vorderer Oberfläche und vom Querschnitte geschah. Ferner musste ich, um die Einmischung der Stromschleifen möglichst zu beschränken, das stromzuführende Paar wenigstens um die ganze Länge der Brachialanschwellung von der Ableitungsstrecke entfernen. Hierbei kommt die hinterste Reizungselektrode dem Ursprungsorte der Rückenmarkswurzeln für die hinteren Extremitäten so nahe zu liegen, dass man bei der Polarisation des Rückenmarks unvermeidlich eine mehr oder weniger starke Mitreizung einer sehr grossen Anzahl von sensiblen Fasern (beinahe aus der ganzen hinteren Hälfte des Körpers) erhält. Ich suchte allerdings die Bedeutung dieser schädlichen, und am Frosche wegen der Dimensionen seines Rückenmarks leider unvermeidlichen, Complication durch die Anwendung schwächerer Ströme (1 und 2 Daniell) zu beschränken, welche, wie wir oben sahen,

von den Nerven aus auf das v. M. nur schwach wirken. Es bleibt jedoch fraglich, ob diese für die sensiblen Nervenstämme in der That «schwachen» Ströme auch den hinteren Rückenmarkswurzeln gegenüber sich als solche erwiesen hätten[1]. Aus diesem Grunde bin ich weit davon entfernt die unten zu besprechenden Thatsachen auf die Polarisation des Rückenmarks allein zu beziehen — die Entscheidung dieser Frage überlasse ich der Zukunft. — Hier handelt es sich einfach um die Feststellung einiger von den im § 11 beschriebenen Erfolgen der Nervenpolarisation abweichenden Thatsachen, welche durch die Einwirkung der Kettenströme auf das Rückenmark gewonnen worden sind.

Die ersten Beobachtungen wurden natürlich auf die bei unserer Versuchsanordnung unvermeidlichen Stromschleifen gerichtet, ob namentlich die in den Galvanometerkreis hineinbrechenden Theile derselben stark genug sind, um die in dem verlängerten Marke abklingenden wirklichen Effecte der Rückenmarkspolarisation zu verdecken. Zu dem Ende habe ich an einem und demselben Präparate die den Stromesschliessungen entsprechenden Ablenkungen bei intactem Rückenmark und nach dem Zermalmen desselben auf der Höhe der der Ableitungsstrecke näheren Elektrode untereinander verglichen. Die Ergebnisse sind in der Tab. IV angeführt. Das Zeichen + vor den fettgedruckten Zahlen bedeutet, dass die entsprechenden Schliessungsablenkungen im Sinne des abgeleiteten primären Stromes erfolgt sind, das Zeichen — umgekehrt. Alle übrigen Zahlen bedeuten die spontanen Schwankungen. Die Richtung des polarisirenden Stromes heisst absteigend, wenn die Anode dem v. M. naher liegt und umgekehrt

Tabelle IV

Nr	Stromstärke	Zust. d. Rückenm.	Vor der Reizung	Schliessung des aufst. Stromes	Schliessung des abst. Stromes
18	1 Dan	int.	8,6	**—410**, 0, 0	**+140**, 14, 13, 10
		zerm.	7, 6, 4	0, 4,	**0**, 4, 10
19	»	int.	22, 24, 25	**— 45**, 38, 26, 20	**—8**, 32, 40
		zerm.	32	0, 31, 39	**0**, 30
20	2 Dan	int.	19, 13, 13, 15	**—115**, 14, 15, 19	**—7**, 18, 28
		zerm.	8, 9, 18	**—1,5**	**0**
21	»	int.	23, 44, 39	**—117**	**+20**
		zerm.	10, 20, 12	**—15**	**0**
22	»	int.	45, 45, 54	**—215**	**—179**
		zerm.	21, 26	**—17**	**+19**, 26

Die Polarisation des Rückenmarks mit 1 Daniell giebt somit in dem Galvanometerkreis keine merklichen Stromschleifen. Bei 2 Daniell bekommt man

[1] Hierdurch sind Versuche mit dem Polarisi.ren der Rückenmarkswurzeln für die hinteren Extremitäten angezeigt, welche an den grossen Exemdlaren von R. escul. (nicht an der hiesigen kleinen R. tempor.) leicht ausführbar sind.

allerdings Ablenkungen, welche in diesem Sinne gedeutet werden könnten, die Ausschläge sind jedoch so klein, dass man solchen Schleifen (wenn es noch wirklich Stromschleifen sind) kaum eine grosse Bedeutung beilegen kann. Merkwürdigerweise sind mir jedoch im Laufe der Polarisationsversuche, deren ich im Ganzen 42 angestellt habe, drei Fälle vorgekommen, wo die Schliessung des Stromes den Magneten mit solcher Heftigkeit warf (bei aufsteigender Richtung im Sinne des compensirenden Stromes, bei entgegengesetzter im Sinne des abgeleiteten), dass ich den Galvanometerkreis sogleich abschliessen musste[1] und mich nicht entschliessen konnte, solche enorme Ablenkungen zu compensiren. Die Ursache und das Wesen dieser Abnormitäten blieben desswegen unaufgeklärt; sicher ist es aber jedenfalls, dass der gegenseitige Abstand der Ableitungs- und Reizungselektroden hierbei keine Rolle spielte; denn gleich nach diesen Beobachtungen, ohne dass die Elektroden angerührt waren, erhielt ich an anderen Präparaten mässige (wie gewöhnlich) Ablenkungen.

Die soeben erwähnten seltenen Anomalien abgerechnet, tragen die Schliessungseffecte im allgemeinen folgenden Charakter. In den meisten Fällen erfolgen die Schliessungsablenkungen für beide Richtungen der Polarisation im Sinne einer negativen Schwankung des abgeleiteten Längs-Querschnittstromes, und zwar stets mit dem vorwiegen der dem aufsteigenden Strome entsprechenden Ablenkung. In anderen Fällen, wo die Richtung der Ablenkungen *rein* entgegengesetzt ist, erfolgt die durch den aufsteigenden Strom hervorgebrachte immer in der Richtung des compensirenden, die der absteigenden Polarisation entsprechende immer in der Richtung des compensirten Stromes. Auch hier ist erstere stets grösser als die zweite. Endlich kommen noch Fälle vor, wo der Magnet bei den Schliessungen des Stromes in absteigender Richtung zunächst einen raschen aber immer unbedeutenden Schwung im Sinne einer negativen Schwankung, hierauf einen grösseren Ausschlag in entgegengesetzter Richtung ausführt. Als Beispiele können die Schliessungsablenkungen der Tab. IV für das intakte Rückenmark und die entsprechenden Grössen in den Versuchen der nächstfolgenden Tab. V dienen. In letzteren ist Doppelsinnigkeit des Ausschlages durch zwei übereinander stehende Zahlen mit + und — angedeutet.

Bedenkt man einerseits, dass die dem Rückenmark applicirten Ströme das v. M. unvermeidlich erregen müssen (schon desshalb, weil die Reizung eine Masse von sensiblen Fasern trifft); andererseits, dass bei unserer Ableitungsweise des v. M. die in dasselbe hineinbrechenden elektrotonischen Ströme, — wenn solche sich in den Centraltheilen des Nervensystems entwickeln können! — den abgeleiteten Längs-Querschnittstrom bei der aufsteigenden Polarisation abschwächen, bei umgekehrter verstärken müssen, — so lassen sich alle oben angeführten Thatsachen, aus dem gleichzeitigen Zustandekommen in dem v. M. eines Erregungsvorganges und einer elektrotonischen Bewegung leicht erklären. Man hat hierfür nur anzunehmen: 1) dass in den meisten Fällen der galvanische Ausdruck der Erregung die Oberhand nimmt; — dann müssen in der That beide Ablenkungen im Sinne negativen Schwankung

[1] Desshalb ist es bei Versuchen im allgemeinen rathsam, vor den Schliessungen des Stromes den Schlüssel der Nebenschliessung immer unter der Hand zu haben.

und zwar mit dem Vorwiegen der Ausschläge für die aufsteigende Richtung erfolgen; 2) dass in einigen Fällen umgekehrt der Elektrotonus und zwar von Anfang an überwiegt; hier müssen die Ablenkungen rein entgegengesetzt gerichtet und die dem aufsteigenden Strome entsprechende immer grösser ausfallen; endlich 3) dass möglicherweise der Anelektrotonus sich in dem verlängerten Marke zuweilen nicht so rasch wie im vorigen Falle entwickelt; dann muss die entsprechende Ablenkung augenscheinlich doppelsinnig werden. Sicher ist es aber jedenfalls, dass die in dieser Erklärung als elektrotonische Bewegungen aufgefassten Erscheinungen mit den Stromschleifen nichts zu thun haben können, denn wie würde man alsdann das gegen den relativ so langsamen Erregungsvorgang verzögerte Zustandekommen der Schleifen in allen jenen Fällen der absteigenden Polarisation erklären können, wo der Magnet einen doppelsinnigen Ausschlag ausführt? Solche Fälle beobachtet man unter den bis jetzt angegebenen Bedingungen allerdings selten; in dem nächsten Paragraphen ist jedoch ein Mittel angegeben, die Erscheinung so oft sichtbar zu machen, wie man will.

Somit *ist die Existenz des Elektrotonus in den Centraltheilen des Nervensystems bewiesen.*

In Anbetracht der soeben gewonnenen Thatsache war es höchst interessant zu sehen, ob der Polarisation des Rückenmarks eine modificirende Wirkung auf die Erregbarkeit des v. M. zukommt. Letzteres mit seinen spontanen Entladungen schien ein für solche Versuche höchst geeignetes und sogar anlockendes Object abzuliefern, inwiefern man in dessen periodischen Erregungen einen so zu sagen natürlichen und fertigen Anzeiger für die Erregbarkeit des Organes hat. Leider mischt sich aber gerade hier die die Polarisation des Rückenmarks begleitende Mitreizung der sensiblen Wurzeln am allerschädlichsten ein, indem man in dem v. M. nebst Elektrotonus, welcher hier allein sein sollte, eine stetige Erregung mit eigentlich unbekannten Erfolgen in Bezug auf die Entladungen (die Reizung trifft ja nicht die Spinalwurzeln allein, sondern auch das Rückenmark mit!) erhält. Aus diesem Grunde sollten diese Beobachtungen eigentlich so lange ausbleiben, als die Erfolge der Polarisation der Spinalwurzeln und der Tetanisirung des Rückenmarks (um nämlich die Effecte einer «stetigen Erregung» sicher zu kennen) unbekannt sind. Da ich aber diese Beobachtungen gelegentlich der Versuche über die Existenz des Elektrotonus unvermeidlich anstellen musste, und hierbei inmitten einer sehr bunt aussehenden Reihe von Erscheinungen doch ein ziemlich constantes und von den Erfolgen der Nervenpolarisation abweichendes Resultat erhielt, so will ich, um des letzteren nicht verlustig zu werden, die Beobachtungen dennoch anführen[1].

Als ich das Rückenmark mit Strömen von 1 Daniell absteigend polarisirte, erhielt ich auf 18 Beobachtungen in 10 Fällen eine deutliche Verstärkung der Entladungen. Bei der Polarisation mit 2 Daniell stieg das Procent solcher Fälle auf 72. Als ich endlich bei dem Schreiben der Abhandlung dieses Resultat anzuzweifeln begann, wurden weitere 3 Versuche (leider an sehr

[1] Der Zeit nach wurden diese Versuche früher als diejenigen mit der Polarisation der Nerven angestellt, desshalb war ich auf die Unreinheit der Resultate weniger vorbereitet.

matten Thieren) angestellt und alle drei ergaben eine deutliche Verstärkung der Entladungen (diese Controllversuche sind in der Tab. V unter 32, 33 und 34 angeführt), während die Polarisation in der entgegengesetzten Nrr. Richtung eine Frequenzzunahme der letzteren mit einer Verringerung einzelner Ablenkungen hervorbrachte. In der jetzt folgenden Tab. V sind die Wirkungen der aufsteigenden Ströme wegen der Unbeständigkeit der Resultate weggelassen und nur die gelungensten von den Versuchen mit der absteigenden Polarisation als Beispiele angeführt. Die fettgedruckten Zahlen bedeuten wie überall die Schliessungsablenkungen; alle übrigen entsprechen den spontanen Schwankungen.

Wollte man für einen Augenblick die in umstehender Tabelle enthalte-

Tabelle V

Nr.	Stromstärke	Vor der abst. Polarisation	Während der abst. Polarisation	Nach der abst. Polarisation
23	1 Daniell.	25, 26, 25	**—40**, 38, 46, 46	21, 32, 21
24		26, 16	**—210**, 53, 50	30, 20
25		4, 3, 1	**—10**, 13, 30	
26		30, 33, 36 37, 44	**—90**, 90, 68 **—93**, 62, 76	37, 44 20, 36
27		30, 30	**0**, 60, 51	33, 30
28	2 Daniell	18, 32, 24 43, 38, 25	**—108**, 50, 88 ? 97	43, 38, 25 13, 16, 17
29		58, 15, 20	**+42**, 33, 95	17, 36, 20
30		27, 18	**—6** **+35**, 135, 113	
31		2, 3	**+215**, 16, 31, 39	0 0 0
32		14, 15 3, 20	**—3**, 33, 37 **—3**, 40, 33, 25	3, 20 23, 5, 38
33		7, 12, 6, 9 2, 2, 7, 5	**—18**, 15, 9, 6 **—11**, 7, 9, 8	2, 2, 7, 5 5, 8, 6
34		17, 22 12, 24 31, 26	**—10**, 12, 46 **—26**, 2, 33, 34 **—5** **+7** 27, 24	12, 24 31, 26 21, 13

nen Thatsachen im Lichte der Pflüger'schen Gesetze für die Polarisation der Nerven betrachten, so würde man unvermeidlich zum Schlusse kommen, dass die Anode das verlängerte Mark zu erregen im Stande ist, — zu einem Schlusse, welcher einerseits mit dem bekannten Befunde von H i t z i g in Bezug auf das Verhalten der Grosshirnrinde gegen die Kettenströme[1] überein-

[1] Untersuchungen über das Gehirn. Berlin 1874. S. 32—36.

stimmt; andererseits die Erregbarkeit der sensiblen Nervenfasern durch die Anode in gewisser Hinsicht erklärlich macht. — Letzteres insofern, als die Erregung eines Nervencentrums von dem sensiblen Nerven aus sich mit einer directen Reizung des Centralgebildes vergleichen lässt, welche nicht das Centrum selbst, sondern dessen integrirenden Bestandtheil, den faserigen Ausläufer, trifft. — Leider steht einer solchen Auffassung nicht nur die oben erwähnte Complicirtheit der Verhältnisse im Wege, sondern die Möglichkeit einer directen Reizung des v. M. durch die Stromschleifen, welche zu schwach sind, um die galvanischen Effecte des Elektrotonus zu verdecken, aber genügend stark sein können, um das v. M. bei seiner hohen Erregbarkeit zu reizen.

Die Effecte des Tetanisirens der Nerven

13. Die Form der jetzt mitzutheilenden Versuche, nämlich das Tetanisiren der Ischiadicusnerven im Laufe von einigen Minuten wurde durch die Ergebnisse meiner früheren Versuche mit dem protrahirten Tetanisiren der sensiblen Nerven am Frosche bestimmt. Diesen Ergebnissen entsprechend notirte ich bei den jetzigen Beobachtungen nicht nur die ersten galvanischen Erfolge der begonnenen Reizung, sondern auch diejenigen der späteren Stadien des Tetanisirens, sowie die Nachfolgen der beendeten Reizung. In allen Versuchen diente mir zum Tetanisiren ein Schlitteninductorium mit Helmholtz'scher Vorrichtung. Der Reizung wurden meist beide nn. ischiadici unterworfen; die Erfolge bleiben jedoch gleich, wenn auch der eine von den Nerven gereizt wird. Das v. M. war stets von der vorderen Oberfläche und vom Querschnitte abgeleitet.

Die schwächsten Ströme, welche überhaupt zu wirken anfangen, sind für unser Versuchsobject sehr schwer festzustellen, weil die Erregbarkeit des v. M. von einem Präparate zum anderen grosse Schwankungen zeigt, andererseits die Frequenz und die Grösse der spontanen Entladungen, welche unter der Reizung eine mehr oder weniger merkliche Aenderung zu erfahren haben, an und für sich sehr unregelmässig sind. Dem entsprehend erweisen sich die Erfolge des Tetanisirens nicht als ganz constant sogar für Ströme, welche einen stromprüfenden Schenkel vom Nerven aus schon längst in einen starken Tetanus versetzt hätten und welche an unserem Objecte ziemlich grosse negative Schwankungen im Beginne der Reizung geben[1]. Bei solchen Stromstärken tragen die Erscheinungen im Allgemeinen folgenden Charakter.

Nachdem die erste meist von einem kleinen Rücktritte des Magneten befolgte negative Schwankung vollendet ist, behält der Magnet die neu erworbene Gleichgewichtslage im weiteren Verlaufe der Reizung mehr oder weniger hartnäckig zurück (indem derselbe sehr langsam hin und her wandert) und vollzieht von dieser Lage ausgehend eine periodische Reihe von spontanen negativen Schwankungen. *Letztere erscheinen in Vergleich mit Norm stets verkleinert und bezüglich der Frequenz am häufigsten beschleunigt, in seltenen Fällen verlangsamt.*

Die Unterbrechung der Reizung ist stets mit einem unbedeutenden Rücktritte des Magneten verbunden, worauf nach einer mehr oder weniger

[1] Bei meiner Versuchsanordnung (die Reizungselektroden ebenfalls unpolarisirbar) entspricht dieses dem Rollenabstand von 200 mm.

kurzen Pause die spontanen Schanwkungen sich wiederum einstellen und zwar mit einer verminderten Frequenz, wenn diese im Laufe der Reizung gestiegen war, und umgekehrt.

Mit der Verstärkung der Reizung nehmen die negativen Schwankungen und die darauf folgenden Rückschwünge des Magneten gewöhnlich an Stärke zu, jedoch nicht so gleichmässig, wie man es erwarten sollte: zuweilen fallen nämlich die Ausschläge bei sehr hohen Stromstärken und an sehr erregbaren Präparaten kleiner als die entsprechenden Ablenkungen an den niedrigsten Stufen der Reizung und der Erregbarkeit aus. Verstärkt man hingegen den Strom bei wiederholten und nicht zu weit von einander abstehenden Reizungen eines und desselben Präparates, so nehmen die ersten Ausschläge mit jeder nachfolgenden Tetanisirung an Stärke ab.

Die Ablenkung des Magneten im Sinne einer stetigen Erregung erhält sich auch jetzt während der ganzen Zeit der Reizung fort, kann jedoch nach einem wiederholten Tetanisiren wegen der stetigen Abnahme der ersten Ausschläge beinahe ganz schwinden.

In Bezug auf die spontanen Entladungen ist der Einfluss der Stromverstärkung constant und zwar *besteht derselbe in einer Verminderung der Frequenz und der Grösse der Entladungen, welche auf einer gewissen Höhe der Reizung in einen Minuten lang andauernden Stillstand übergeht.* Es ist nicht unwichtig hier sogleich zu bemerken, dass dieser Zustand durch Stromstärken herbeigeführt wird, welche nicht ausreichen vom Vagus aus das Herz in einen Stillstand zu versetzen[1]. Nicht selten wird dieser Zustand schon im Laufe der ersten 3′ nach dem Beginne der Reizung durch einige kleine spontane Schwankungen unterbrochen; nach Ablauf dieser Zeit kann man aber mit grosser Sicherheit auf das Zustandekommen einiger ausgiebiger Schwankungen rechnen, denen wiederum eine Periode von Ruhe folgt. Je öfter an einem und demselben Präparate die starke Reizung wiederholt wird, desto früher stellen sich nach dem Beginne der Reizung die secundären spontanen Ablenkungen ein.

Die Nachfolgen einer starken Reizung sind ebenfalls constant und *beginnen* (entweder sogleich nach der Unterbrechung der Reizung oder einige Augenblicke später) *mit einer starken*, die vor der Reizung beobachteten Entladungen nicht selten übertreffenden *negativen Schwankung, auf welche eine Reihe sehr frequenter* (oft ununterbrochene) *kleinerer Entladungen folgt.* Zur Zeit wo die letzteren sich entwickeln, beobachtet man gewöhnlich einen langsamen Rücktritt des Magneten zu seiner Ruhelage hin; d. h. es erfolgt nach jeder kleinen Ablenkung des Magneten im Sinne der Erregung ein grösserer Rückschwung im entgegengesetzten Sinne, als wäre die noch fortdauernde stetige Erregung des v. M. in einem allmählichen Abnehmen begriffen.

Um die Analogie dieser Versuche mit meinen oft citirten früheren Erfahrungen zu vervollständigen, reizte ich die Ischiadicusnerven noch mit Kochsalz und zwar ebenfalls im Laufe von einigen Minuten, worauf die Reizung mittelst eines Scheerenschnittes an den Nerven oberhalb der gereizten Strecke plötzlich abgebrochen wird. Die Resultate entsprachen denjenigen

[1] In meinen Versuchen entspricht diese Wirkung dem Rollenabstand zwischen 100 und 75 mm.

eines mittelstarken Tetanisirens. — Man erhält nämlich nebst einem kleinen Ausschlage im Beginne der Reizung ein stetiges Vorschreiten des Magneten im Sinne der Erregung, welches von Zeit zu Zeit durch spontane, im Ver-

Tabelle VI

Nr.	Reizungsart	Rollenabstand	Vor der Reizung	Während der Reizung	Nach der Reizung
		mm			
35	Schwächeres Tetanisiren der Nerven	200	10, 21, 10, 27, 25	**22,** 2. 3. 7. 15. 18	15, 13, 12
		150		**21,** 8. 5. 9. 10. 2. 3. 7	10, 12, 11
		100		**30,** 13. 15	11, 14, 9
36		200	40, 46, 49	**79,** 26. 28. 16. 23. 21. 24	17, 13, 15, 14
		180		**53,** 11. 8. 11. 10. 10. 0	1, 1, 19
37		180	20, 11, 11	**51,** 6. 7. 9. 8. 9	9, 3, 7
38		200	15, 25, 14, 16	**50,** 10, 11	5. 5. 7, 15
		170		**46,** 2, 17, 20	5, 8
		100		**37,** 0	21. 3. 2. 6. 3, 0
39	Stärkeres Tetanisiren der Nerven	100	29, 31, 18, 18	**33,** 3, 5, 10	19, 23, 17, 16
				32, 2, 2	42, 21, 17
40		100	17, 34, 23, 27, 33, 24	**195.** 5, 5, 2	39. 14, 26, 23. 31
				39, 18	27, 9. 17. 18, 0
				26, 18	16, 7, 12, 0
41		75	10, 10, 6, 24	**19,** 2	15. 12. 10. 6. 6. 7. 8. 7. 6. 7
			8, 6, 8, 7	**10,** 1	30, 28. 19. 14. 10, 0
			10, 14, 11	**24,** 3	25. 7, 19, 9
42		83	32, 38	**16,** 4	54. 36, 24, 26
				10, 30	54. 16. 20. 24. 27, 17
			35, 30	**18,** 6, 20	49. 21. 26, 27, 13
			27, 25, 26, 23	**16.** 0	50. 29, 22, 14
43		83	50, 40, 23, 33, 74	**97,** 0	33. 17. 26. 37. 30, 7. 30. 30. 28
			26, 32, 38, 38, 32 31, 30	**46,** 0	40, 25, 24, 16
				54, 2, 1, 25	18. 21. 29, 17
44	Reizung der Nerven mit NaCl		16, 16, 16	**13,** 15, 5, 12, 13, 4, 3, 5, 13, 4	90. 20, 6, 19
45			32, 27, 23, 29	**0,** 4, 5	45. 33. 31. 33. 14, 17
46			11, 11, 14, 10	**6,** 6, 1, 1, 9, 10, 3	45, 2, 3. 13. 9
47			54, 20, 90, 123, 72	**0,** 35, 28, 26, 35, 32, 3, 65, 25	60. 21. 32. 20. 23, 20, 23, 23, 11, 23, 15

Nr.	Reizungsart	Rollenabstand.	Vor der Reizung	Während der Reizung	Nach der Reizung
48	Tetanisiren des Rückenmarks		50, 52, 23, 18, 29, 25	**0**, 28, 28, 25	
49			30, 38, 57, 22, 29, 25	**0**, 33, 27	5, 64, 69
50			20, 20, 17, 18, 21, 13, 16	**0**, 14, 13	23, 24
51		98	20, 22, 20, 21, 20	**110**, 90	8. 18. 12, 18, 19, 49, 17
52			14, 20, 14, 15, 13, 13	**90**, 80	3. 8. 11, 11

gleich mit Norm stets kleinere aber nicht immer verzögerte Schwankungen unterbrochen wird. Nicht selten erreicht jedoch die Frequenzabnahme einen solchen Grad, dass man im Laufe von 3′ höchstens ein paar kleine Ausschläge zu sehen bekommt. Die Abbrechung der Reizung wird beinahe immer durch eine in Vergleich mit Norm stärkere negative Schwankung beantwortet, worauf eine frequente Reihe kleinerer Ausschläge folgt. An sehr erregbaren Präparaten versetzt die Durchschneidung der im Laufe von einigen Minuten mit Kochsalz gereizten Nerven die Muskeln des Beckenstückes stets in einen starken Tetanus, den ich wegen seines Ursprunges mit dem Namen eines *reflektorischen Kochsalztetanus* bezeichnen möchte.

Endlich besitze ich einige Versuche mit dem Tetanisiren des Rückenmarks durch Ströme, welche den motorischen Nerv erst zu erregen beginnen und an das Rückenmark applicirt keine negativen Schwankungen in dem verlängerten Marke auslösen. Diese Versuche sind insofern interessant, als die Reizung (eine so schwache!) in einigen Fällen eine deutliche Verminderung der Entladungsfrequenz hervorbrachte, ohne die Grösse der Ablenkungen merklich zu beenflussen, während die mittelstarke Reizung die letzteren bedeutend zu verstärken schien. Uebrigens habe ich noch zu wenig solcher Versuche angestellt.

In den Beispielen der nun folgenden Tabelle entsprechen die fettgedruckten Zahlen den Anfangsablenkungen, alle übrigen den spontanen Schwankungen; die Comma's zwischen den letzteren bedeuten eine geringere, die Punkte eine grössere Frequenz der Entladungen. In allen Versuchen dauerten je drei einander entsprechende Beobachtungsperioden (vor, während und nach der Reizung) gleiche Zeiten, zwischen 2′—5′ schwankend, und überall waren alle während der Periode erfolgten Entladungen notirt; so dass man die Aenderung der Frequenz noch aus der Anzahl der Schwankungen ersehen kann. Die leeren Stellen in der Spalte «vor der Reizung» bedeuten, dass die Reizung sogleich nach Ablauf der vorherigen 3-gliedrigen Beobachtungsreihe vorgenommen war.

Unter den Ergebnissen dieser Versuche ist der durch die Nervenreizung bedingte Stillstand der Entladungen am leichtesten zu erklären. Dem äusseren Aussehen nach entspricht derselbe offenbar dem Stillstande des Herzens bei Reizung des Vagus. In beiden Fällen werden in der Fhat die

Erregungen mittelst centripetalleitenden Bahnen zweien Organen zugeführt, in welchen spontane periodische Erregungen stattfinden; und in beiden Fällen erfolgt bei starker Reizung eine Depression der Erregungen, welche keineswegs aus einer Erschöpfung der intermittirend wirkenden Nervenmechanismen abgeleitet werden kann.

So wie also die Vaguswirkung als ein Hemmungsvorgang betrachtet wird, mit demselben Rechte muss auch der Stillstand der Entladungen bei Reizung der Ischiadicusnerven als solcher anerkannt werden.

Das Verständniss der übrigen Wirkungen lässt sich am ehesten erreichen, wenn man dieselben mit den Hauptergebnissen meiner alten Versuche über das Tetanisiren und die chemische Reizung der sensiblen Nerven am Frosche vergleicht[1]. Zu dem Ende will ich die alten und die neuen Versuche in kurzen Sätzen recapitulirt nebeneinander stellen.

Der Erfolg einer jeden protrahirten Nervenreizung ist ein zweifacher, indem man nebst Bewegungen mehr oder weniger merkliche Zeichen einer Abschwächung des Reflexvermögens (Unterdrückung der Hautempfindlichkeit) beobachtet.

Bei schwacher Reizung ist die motorische Wirkung vorwiegend oder sogar ausschliesslich vorhanden.

Bei mittelstarker Reizung erhält man hingegen beide Erfolge abwechselnd hintereinander: erst die motorische Wirkung, hierauf während der Ruhe die Abschwächung des Reflexvermögens.

Bei starker Reizung ist die das Reflexvermögen abschwächende Wirkung die vorherrschende.

Die Nachfolgen eines schwachen Tetanisirens sind unmerklich; diejenigen einer mittelmässigen und starken Reizung,—namentlich wenn diese zur Zeit des herabgesetzten Reflexvermögens abgebrochen wird,—bestehen hingegen stets in dem Zustandekommen einer starken reflektorischen Bewegung.

Die Nachfolgen einer protrahirten Kochsalzreizung sind ebenso beschaffen; nur ist hier noch die Beobachtung gemacht worden, dass das Abbrechen der Reizung eine Steigernng des Reflexvermögens zur Folge hat.

Der galvanische Erfolg einer jeden protrahirten Nervenreizung ist ein zweifacher, indem man nebst negativen Schwankungen im Beginne der Reizung mehr oder weniger deutliche Depressionen in der Thätigkeit des v. M. beobachtet.

Bei schwacher Reizung beobachtet man neben den negativen Schwankungen gewöhnlich keine Depressionseffecte.

Stärkere Reizungen beginnen stets mit negativen Schwankungen, auf welche ein Stillstand der Entladungen folgt, welcher nicht selten durch ziemlich starke spontane Schwankungen unterbrochen wird (z. B. in den Nrr. 38, 40, 42 uud 43) [2].

Bei starker Reizung ist die Depression der spontanen Entladungen die vorherrschende Erscheinung.

Die galvanischen Nachfolgen einer schwachen Reizung sind unbestimmt; diejenigen der stärkeren aber,—namentlich wenn die Reizung eine Depression zur Folge hatte,—tragen immer den Charakter einer starken positiven Erregung des verlängerten Markes.

Die Nachfolgen einer protrahirten Kochsalzreizung bestehen gewöhnlich in einer starken negativen Schwankung und einer Frequenzzunahme der spontanen Entladungen.

Die Analogie zwischen beiden Reihen von Erscheinungen ist in der That eine vollständige, wenn man paarweise die Anfangsablenkungen mit den reflektorisch ausgelösten Bewegungen, die Frequenzzunahme der Entladungen mit einer Erhöhung der Erregbarkeit der Nervencentra und die

---

[1] l. c. S. 15—23.

[2] Man muss noch den Umstand beachten, dass in der neuen Versuchsreihe die cerebrospinale Axe nicht mit Blut gespeist wird.

Depression der Entladungen mit dem herabgesetzten Reflexvermögen, als gleichwerthige Zustände auffasst.

Die Gleichwerthigkeit des 1. Paares bedürfte glaube ich keiner Beweise. Diejenige des 2. Paares wird durch die Nachfolgen der Kochsalzreizung bewiesen. Die Analogie zwischen den Gliedern des 3. Paares ist ebenfalls eine frappante, insofern man in beiden Fällen offenbar mit deprimirten Zuständen gewisser Mechanismen zu thun hat, und zwar mit Depressionen, welche weder in der ersten noch in der zweiten Reihe sich aus einer Erschöpfung der Nervencentra ableiten lassen; — letzteres deshalb, weil in beiden Fällen die Depressionen entweder sogleich nach dem Aufhören der Reizung oder einige Augenblicke später in eine erhöhte Thätigkeit übergehen. Die Analogie ist dennoch keine vollständige: es bleibt nämlich bis jetzt unentschieden, ob die in Folge der Nervenreizung eintretende Unempflindlichkeit der Haut resp. die Abschwächung des Reflexvermögens auf einer Aenderung in dem Zustande der centralen Theile der reflektorischen Apparate oder auf einer Modification der Erregbarkeit in den peripherischen Endapparaten der sensiblen Nerven beruht[1]. Wäre letzteres der Fall, so würde man im 3. Paar anstatt wirklich analoger Zustände zwei Erscheinungen zusammengestellt haben, von denen die eine einen ächten centralen Hemmungsvorgang (der Stillstand der Entladungen) darstellt, während die andere ein der Natur nach völlig unbekannter Process (vielleicht sogar eine Art von Muskelzusammenziehung) ist. Ehe weiter zu gehen, müsste man also die angedeutete Lücke ausfüllen, d. h. zu entscheiden suchen, ob die Erregbarkeit der Centraltheile, namentlich des Rückenmarks durch das Tetanisiren der Nerven unterdrückt wird. Zu dem Ende nahm ich als Reize für das Rückenmark die Schliessungen der Kettenströme (meistens 2 Daniell) vorzugsweise in der absteigenden Richtung. Hierbei erwartete ich folgendes: wenn die Nervenreizung die Erregbarkeit des Rückenmarks herabsetzt, so muss der in den Schliessungseffecten meist überwiegende Erregungsvorgang abgeschwächt oder ganz supprimirt werden und die bis dahin verdeckte elektrotonische Wirkung rein an's Licht treten; bei den Schliessungen in der aufsteigenden Richtung kann man hingegen nur auf eine Verringerung der Anfangsablenkung rechnen. Die Versuche bestätigten beide Erwartungen, wie es die sogleich anzuführenden Beispiele zeigen. In diesen sind die die Effecte einzelner Schliessungen angebenden Zahlen stets mit dem Vorzeichen + oder — versehen (die Effecte = 0 sind frei davon), von denen das erste den Ausschlägen im Sinne des abgeleiteten Stromes entspricht, das zweite umgekehrt. Die Ablenkungsgrössen der spontanen Schwankungen tragen hingegen kein Vorzeichen und sind der grösseren Unterscheidbarkeit wegen fett gedruckt. Die übereinanderstehenden, den zusammengesetzten Schliessungsablenkungen entsprechenden Zahlen sind von oben nach unten abzulesen, weil die Ausschläge in dieser Reihenfolge stattfanden. Im Ganzen sind aber die Zahlen in jedem einzelnen Versuche von links nach rechts, wie die Zeilen eines Buches zu esen. Dieses ist sehr wichtig wegen der dadurch angegebenen Stellung der

[1] Für die Hemmungswirkungen von den mittleren Hirntheilen aus ist es im Gegentheil längst bewiesen, dass die Erregbarkeit der Endapparate der sensiblen Nerven hierbei nicht unterdrückt wird: die tactilen Reflexe dauern nämlich fort.

spontanen Schwankungen inmitten der künstlich hervorgerufenen Erregbarkeitsäusserungen des Rückenmarks.

Tabelle VII

Nr.	Richtung d. Kettenstr.	Schliessungseffecte			Reizungsart der Nerven
		Vor d. Tetan.	Wärend der Tetanisirung	Nach der Tetanisirung	
53	absteigend	− 10	−2; −2 +8; +10 −0,5; −3 +8 ; +4	−57	Tetanisiren
54		− 35	−6 ; −22; −9; −7 +41; +7 ; +9; +9 −57 −3 −2 −2 −3 +24 +15 +13 +10 −2 −1 −1,5 +11 +16 +15	**60**; −16; −6; −4 +14; **62**	
55		− 46	−1 −3 −2 +28 +3 +7 −31 −0,5 −1 +4 +28 −31	**32**; −73 −0,5 −3 +2 ; **15**; **18**; +2 −39 −30	
56		− 61	0; 0 +8; −4; −6	**42**, **32**, **27**, **17**; 0; **32**	
57		− 51	−3 −3 −2 −4 +23 +19 +10 +7 −30 −48 Tet.-Strom verst. −2 −3 −2 +8 +3 +2 −11 −10	−5 −4 +5 +4 **38** −30 −38 **21**; −13	
58	aufsteigend	−145	−25; −46; −50 −96; −160	In diesen Versuchen dauerte das Tetanisiren 5′	
59		−220	−148; −150		
60		− 92	**45**, **55**, **32**; +50 −2 −3 +37 +8	−2 **47**, **19**, **34**; +3 −42	Kochsalzreizung
61		− 78	0; **48**; −11 +2; **57** −3 −1 +18 +11	**68**, **28**, **21**; −35	
62		−250	**23**, **30**, **2**, **13**; 0; 0; **25**	**50**; 0; **39**, **30**, **40**; 0.	

Vergleicht man die vor der Nervenreizung durch die Schliessungen des Kettenstromes erzeugten negativen Schwankungen mit den entsprechenden kleinen Ausschlägen während des Tetanisirens (die letzten Ablenkungen in den 3-gliedrigen Gruppen abgerechnet, welche erst in den späteren Stadien der Nervenreizung vorkommen und von deren Bedeutung unten die Rede sein wird), so ergiebt sich die deprimirende Wirkung der Nerventetanisation auf die Erregbarkeit des Rückenmarks von selbst. In demselben Sinne spricht auch das stetige Auftreten der elektrotonischen Ausschläge bei absteigender Stromesrichtung, welche vor der Tetanisation durch das erregende Moment der Stromesschliessung in allen angeführten Beispielen verdeckt war.

Somit erweisen sich die Depressionen in beiden Reihen nicht nur als einander analog, sondern als gleichwertig, oder sogar identisch — als verschiedene Aeusserungen eines und desselben centralen Processes. — Beide Zustände verdanken in der That ihren Ursprung einer und derselben Grundursache, einer von den Nerven aus hervorgebrachten Depression der Erregbarkeit der cerebrospinalen *Axe*, *einem excito-hemmenden Effecte* der *Nervenreizung*.

Nachdem die Zusammenstellung der alten und der neuen Versuche zu gegenseitiger Aufklärung einzelner Erscheinungen in beiden Reihen so weit gedient hat, will ich die weitere Betrachtung in zwei Rubriken theilen: erst die galvanischen Effecte der Nerventetanisation in ihrem Zusammenhange besprechen, hierauf mit Hilfe der neu erworbenen Thatsachen die ganze Frage über die Reflexhemmungen beleuchten.

14. In Bezug auf die galvanischen Effecte tritt zunächst die Frage auf, in welchem Verhältnisse die Erfolge einer schwachen Reizung zu denjenigen einer starken, d. h. die Beschleunigungen der Entladungen zu den Hemmungen derselben, stehen. Hier könnte man an die einst von Herrn S c h i f f in Bezug auf das Herz aufgestellte Erschöpfungstheorie, nach welcher Beschleunigung und Hemmung nur verschiedene Grade einer und derselben Wirkung seien, um so eher denken, als die Erregung der Ischiadicusnerven bekanntermaassen auf das v. M. nicht nur excito-hemmend, sondern auch excitomotorisch wirkt, und zwar während des Hemmungsvorganges selbst, wie es die stetige Ablenkung des Magneten im Sinne der Erregung bei hemmender Reizung zeigt. Die galvanischen Nachfolgen der Hemmung in den Vers. 39—47 der Tab. VI sprechen jedoch zu deutlich gegen eine solche Auffassung. — Die Erschöpfung der Motoren setzt ein allmähliches und langsames Wiederherstellen ihrer Energie voraus (besonders in den blutleeren Organen); hier aber hat man umgekehrt eine Verstärkung der Thätigkeit gegen die Norm und zwar beinahe gleich nach dem Abbrechen der Reizung. — Die Erscheinung trägt im Gegentheil einen solchen Charakter, als fände während der Hemmung eine Ansammlung der Energie in den Motoren statt, welche sofort in explosionsartige Bewegungen übergeht, so wie der die Entladungen hemmende Vorgang weggeräumt ist. — Die Erscheinung erinnert mit einem Worte an jene uralte Erfahrung, nach welcher die gehemmten r e e l l e n (nicht fictiven) Bestrebungen, mit dem Nachlassen des Druckes, in desto stärkere Explosionen übergehen, je länger der Druck lastete. Ich zweifle keinen Augenblick, dass man in den Vers. 39—47 mit den biologischen Grundlagen des Gesetzes der Revolutionen zu thun hat; denn auch die zweite

Hälfte dieses Gesetzes, das Entstehen der Explosionen während der fortdauernden Hemmung, ist in meinen alten Versuchen ganz klar, in den jetzigen (wegen des blutleeren Zustandes der Organe) allerdings nur andeutungsweise aber ebenfalls vorhanden:

eine andauernde Reizung der sensiblen Nerven löst immer nach einer mehr oder weniger langen Hemmungsperiode secundäre tetanische Bewegungen aus, welche an Stärke die primären, durch dieselbe Reizung hervorgebrachten, übertreffen — so lauten die Ergebnisse meiner alten Versuche[1];

wird die sensible Reizung über 3′ fortgesetzt, so kann man mit grosser Sicherheit das Zustandekommen ziemlich ausgiebiger spontaner Schwankungen inmitten der Hemmungsperiode erwarten — so sprechen die neuen Versuche.

Diesen Abstecher in das weite Gebiet des Lebens schliesse ich mit der Bemerkung, dass man für das Verständniss der explosiven Nachfolgen einer Hemmung nur anzunehmen hat, dass die Ladung der Nervencentra mit Energie auch während des Hemmungszustandes fortdauert.

Die zweite mögliche Aufklärung des in Rede stehenden Verhältnisses bietet die jetzt herrschende Anschauung über die Beschleunigungen und Hemmungen im Herzen dar, die Anschauung, nach welcher man bekanntlich den beiden Wirkungen zwei voneinander unabhängige Systeme von Regulationen unterschiebt. Leider besitze ich noch keine Thatsachen, welche zur Aufklärung der Frage in dieser Richtung beitragen könnten. Dennoch kann ich mich bei dieser Gelegenheit der Bemerkung nicht enthalten, dass im Sinne der Zweckmässigkeit eine Trennung der beschleunigenden und der hemmenden Regulatoren für die locomotorische Maschine des Thierkörpers nicht unwahrscheinlich wäre, in Anbetracht der der letzteren sowohl beim Menschen als bei Thieren innewohnenden Fähigkeit, durch *qualitativ* verschiedene äussere Einflüsse entweder in eine beschleunigte oder verlangsamte Thätigkeit versetzt zu werden.

Den Hemmungsvorgang könnte man endlich als einen speciellen Fall jener allgemeinen Verhältnisse in dem Gebiete der Empfindungen betrachten, welche durch das *Weber-Fechner*'sche Gesetz formulirt sind. Die äusseren Analogien sind in der That da. — Die Empfindungen sind ebenfalls Erfolge einer centripetalen Reizung; die Reizzuwüchse lassen sich mit den den spontanen Entladungen zu Grunde liegenden Erregungen scheinbar ohne Zwang vergleichen; und von den die letzteren bedingenden Kraftstössen muss man unbedingt annehmen, dass sie im Vergleich mit den ihre Wirkungen deprimirenden Reizstössen sehr schwach sind, besonders in unserem Falle, bei der ausserordentlich hohen Erregbarkeit des v. M. Dann könnte man allerdings den Hemmungsvorgang als gleichwerthig mit allen jenen Fällen betrachten, in welchen das Empfindungsorgan wegen und während einer relativ starken Erregung die Fähigkeit einbüsst, durch relativ schwache Reizzuwüchse merklich erregt zu werden. Hier muss ich aber sogleich die Bemerkung machen, dass man bei den Versuchen an den Empfindungsorganen immer (tacite) von der Voraussetzung ausgeht, dass der Angriffspunkt sowohl für schwache als starke Reize einer und derselbe ist. Wollte man also

[1] l. c. S. 16—19, b. und c.

bei der angeführten Analogie stehen bleiben, so würde man, um nicht wiederum in die Erschöpfungshypothese einzufallen, entweder genöthigt sein anzunehmen, dass es für die Empfindungsorgane selbstständige Regulatoren giebt, welche von starken Reizen mitgetroffen werden; oder zu einer Hypothese Zuflucht zu nehmen, dass in den centralen Apparaten des Nervensystems bei andauernden Erregungen von Aussen Interferenzen stattfinden, welche Functionen der Reizstärke sind.

In Betreff der den Hemmungszustand begleitenden stetigen Ablenkung des Magneten im Sinne der Erregung habe ich folgendes zu bemerken. Als ich die ersten Resultate mit dem Stillstande der Entladungen bekam, fiel mir der Gedanke auf, dass die letzteren möglicherweise nur desshalb ausbleiben, weil der Magnet durch die Reizung schon ohnedies eine maximale Ablenkung erfahren hat. So wie ich aber die Nachfolgen der Hemmung zu beobachten anfing, erwies sich diese Vermuthung bald als grundlos. Nicht selten beginnt die thätige Reaction so rasch nach dem Aufhören der Reizung, dass der Magnet keine Zeit findet, einen Rückschwung zu machen, und dennoch erfolgt von dieser quasi maximalen Ablenkung ausgehend meist die grösste von allen darauf folgenden Entladungen. Noch evidenter geht dieses daraus hervor, dass die stetigen Ablenkungen bei schwacher, nicht hemmender Reizung durchschnittlich nicht kleiner sind, als diejenigen bei einer starken. Letzteres, in Verbindung mit der Thatsache einer merklichen Abnahme der stetigen Ablenkungen bei wiederholter Reizung lässt mich sogar glauben, dass auch die diesen Ablenkungen zu Grunde liegenden Erregungen gehemmt werden; — um so mehr als in meinen alten Erfahrungen Versuche vorkommen, wo starkes Tetanisiren der Nerven eine schon vorhandene, durch dieselbe Reizung ausgelöste Bewegung hemmt. An einem freisitzenden Frosche mit abgetragenen Hemisphären löst eine starke Nervenreizung gewöhnlich eine sehr langsame Bewegung in dem ganzen Körper mit dem Charakter eines gehemmten Fluchtversuches aus; während bei einer viel schwächeren Reizung derselbe Frosch sogleich nach Beginn der Reizung einen Sprung macht[1].

Was endlich die Versuche mit der Erregbarkeit des Rückenmarkes während der Hemmung anbelangt, so ist in denselben (abgesehen von dem schon früher erwähnten Hauptresultate) zunächst das Auftreten der 3-gliedrigen Ablenkungen zu erklären, welche, überall mit einer kleinen negativen Schwankung beginnend, eine der Grösse nach wechselnde elektrotonische Ablenkung in der Mitte einschliessen und mit einem relativ starken Ausschlage im Sinne der Erregung endigen. Die Erklärung lautet einfach so: die dreifachen Schwankungen mit der für dieselben charakteristischen starken 3-ten Ablenkung kommen bei der Application der Kettenströme nur dann zu Stande, wenn ohnedies die Bedingungen zu einem nahen Entstehen von spontanen Schwankungen da sind. Durchmustert man die Versuche der Tabelle VII, so sieht man in der That, dass solche Schwankungen nur während der späteren Perioden des Tetanisirens (die einzige Ausnahme hiervon in dem Vers. 57 hing von der relativen Schwäche des tetanisirenden Stromes ab) und nach dem Aufhören der Reizung vorkommen; folglich haben die 3-ten Ablenkungen in den

[1] l. c. S. 23,c'.

dreifachen Schwankungen die Bedeutung der mittelst der Stromesschliessungen etwas verfrüht hervorgerufenen Entladungen. Zu Gunsten dieser Auslegung spricht noch der Umstand, dass man in allen Versuchen mit solchen Schwankungen Fälle trifft, wo die 3-ten Ablenkungen den benachbarten spontanen Entladungen beinahe gleich sind (57 und 60 im Vers. 54; 31 und 32 im Vers. 55 u. s. w.). Woher kommt es aber, dass die Schliessungseffecte in der Periode nach der Reizung bald in Form einfacher negativer Schwankungen, bald als dreifache Ablenkungen erscheinen? Wahrscheinlich daher, weil die Erregbarkeit der unteren Hälfte des Rückenmarks nach dem Aufhören der Nervenreizung länger deprimirt bleibt als diejenige des v. M. Sonst wären die Nachfolgen des Tetanisirens in den Versuchen 54, 56 und 62 unerklärlich, insofern nämlich hier die Stromesschliessungen sehr schwach oder gar nicht erregend wirkten, obgleich starke spontane Schwankungen schon da waren.

Zum Schlusse dieses Abschnittes möchte ich noch des galvanischen Ausdruckes für den Hemmungszustand in dem Rückenmarke erwähnen. Wird dieses Organ vom Längs- und Querschnitte abgeleitet, so merkt man an dem (compensirten) Strome, welcher gewöhnlich etwas stärker als derjenige des v. M. ist, nur das Zeichen eines allmählichen Absterbens der Axe, d. h. eine ununterbrochene mehr oder weniger gleichmässige, Minuten lang dauernde Abnahme des Stromes. In manchen Fällen geht jedoch die der letzteren entsprechende Bewegung des Magneten so rasch vor sich, dass man unwillkürlich an die Betheiligung einer stetigen Erregung an dem Vorgange des Absterbens der spinalen Axe denkt. Und in der That lässt sich die Bewegung sehr merklich verlangsamen, wenn man die Nerven tetanisirt.

15. Vor dem Erscheinen meiner Untersuchung über die Reizung der sensiblen Nerven hat die von mir begonnene Frage uber die Reflexhemmung[1], in ihren experimentellen Grundlagen betrachtet, folgende Gestalt gehabt.

Von allen künstlichen Querschnitten der cerebrospinalen Axe des Frosches aus, die Hemisphären ausgenommen, lassen sich durch *oberflächliche* (desshalb vorzugsweise chemische) Reizungen sowohl motorische als reflexdeprimirende Effecte erzeugen, aber in höchst verschiedenen Graden, wenn man mit den Querschnitten von vorn nach hinten vorschreitet und die Reflexe an den hinteren Extremitäten mittelst der T ü r k'schen Methode misst. Nur vom Mittelhirn und von den oberen Schichten des v. M. aus erhält man mittelst solcher oberflächlicher Reizungen starke und durch den ganzen Körper sich ausbreitende motorische und depressive Effecte; während die entsprechenden Erscheinungen an den Rückenmarksquerschnitten (natürlich nur in der oberen Hälfte, weil die Reflexe an den Hinterbeinen beobachtet werden) so schwach sind, dass sie sich einer nicht minutiösen Beobachtung gewöhnlich völlig entziehen. An allen Querschnitten des Gehirns gelingt es weiter erst die Depressionen (sonst wäre ja die Beobachtung derselben unmöglich!), hierauf die Bewegungen zu beobachten; der vorzüglichste Ort für solche Beobachtungen ist jedoch der Querschnitt der Thalami optici, weil hier die Bewegungen nicht so rasch wie an anderen Stellen sich entwickeln; andererseits man gerade von hier aus durch die leisesten Reizungen (sogar

[1] Physiol. Stud. über die Hemmungsmech. u. s. w. Berlin 1863.

mittelst Benetzung des Querschnittes mit Blut) deutliche Depressionen erhält.

Dieses verschiedene Verhalten des Gehirns und des Rückenmarkes gegen die Reizung, zusammen mit den Beweisen, dass die Depressionen weder von starken schmerzhaften Empfindungen, noch von den Aenderungen in den peripherischen Theilen des Nervensystems abgeleitet werden können, bildete bekanntlich die Grundlage der Lehre über die reflexhemmende Wirkung des Gehirns. Hierbei musste ich, um der Vorstellung eine handgreiflichere Gestalt zu geben, mich auf die Analogie der Erscheinung mit dem Hemmungsvorgange im Herzen berufen, jedoch mit der Bemerkung[1], dass dieser Analogie ein Glied fehlt, nämlich die für das Hemmungsvorbild erwiesene Möglichkeit, die Depressionen durch Reizungen der peripherischen Theile des Apparates zu erhalten, während die Reizungen des Rückenmarkes, wo dem Vorbilde nach die Depressionen stattfinden müssten, nichts dergleichen geben.

Neben dieser Lehre stand eine wenig geordnete Masse von experimentellen und pathologischen Beobachtungen, nach welchen einem jeden starken, sei es directen oder indirecten Angriff auf die beliebige Abtheilung des centralen Nervensystems eine Periode der Erschöpfung oder der Prostration nachfolgt, während welcher alle Aeusserungen — unter anderen natürlich auch die reflektorischen — in der betreffenden Nervenprovinz unterdrückt sind. Herr Herzen[2] suchte diesem Materiale eine bestimmtere Gestalt zu geben, und in der That ist es ihm zu beweisen gelungen, dass starke (meist mit Zerstörung der Theile verbundene) directe und indirecte Reizungen des Nervensystems, sowohl an geköpften Fröschen als an Thieren mit intactem Gehirn nebst motorischen Wirkungen starke Depressionen hervorrufen, von denen die letzteren denselben Charakter tragen, wie die durch meine Reizungen erzielten.

Die Versuche von Herrn Herzen bestimmten mich, die Frage mit der Reizung der sensiblen Nerven systematisch vorzunehmen, und so erschien die Arbeit, deren Ergebnisse ich in § 13 angeführt habe. In Bezug auf die Hauptfrage leistete dieselbe zwei Dienste: erstens bewiesen die Versuche ganz unzweideutig, dass die durch Nervenreizung hervorgebrachten Depressionen mit einer Erschöpfung oder Ueberreizung der Nervencentren nichts zu thun haben; zweitens war durch die Thatsache der Depressionen an dem Rückenmark allein die Lücke in der Analogie zwischen der Einwirkung des Gehirns auf die Reflexe und derjenigen des Vagus auf das Herz ausgefüllt.

Wie sind aber jetzt, nachdem die depressiven Effecte der Nervenreizung als echte Hemmungsvorgänge anerkannt sind, die oben aufgezählten Erfolge der direkten Reizungen der cerebrospinalen Axe aufzufassen?

Die Antwort darauf ist glücklicherweise sehr leicht. Den jetzt herrschenden, zum Theil bewiesenen, Vorstellungen über die Rolle der Nervencentra in den Empfindungsvorgängen gemäss, muss man von vornherein erwarten, dass die Erfolge einer directen und indirecten (d. h. von den Nerven aus) Reizung der cerebrospinalen Axe des Frosches in allgemeinen Zügen gleich sein müssen; und in der That bekommt man auch bei directen Reizungen

[1] l. c. S. 47.
[2] Exp. sur les centres modér. de l'action réfl. Turin 1864.

der Axe sowohl motorische als deprimirende Wirkungen; — letztere sogar viel leichter als von den Nerven aus, wie es z. B. die Depressionen bei Reizung der Thalami optici mit Inductionsströmen, welche den motorischen Nerven erst zu erregen beginnen, zeigen. Folglich *sind die bei directen Reizungen stattfinden den Depressionen ebanfalls als Hemmungen zu betrachten.*

Was ferner den quantitativen Unterschied in den Reizungen des Gehirns und des Rückenmarks anbelangt, so hängt derselbe offenbar davon ab, dass in Bezug auf die locale Anordnung der die Hemisphären mit den reflektorischen Centra des Rückenmarks verbindenden Leitungsbahnen das Gehirn und das Rückenmark grosse Unterschiede zeigt. Ersteres ist so gebaut, dass Erregungen relativ sehr dünner Schichten allgemein verbreitete Effecte beider Art auszulösen vermögen; während das Rückenmark für solche allgemeine Wirkungen einer grösseren Ausbreitung der Erregungssphäre bedarf. Das nahe Aneinanderliegen der Orte im Gehirne, von welchen aus man am leichtesten allgemein verbreitete motorische und depressive Wirkungen erhält, hat nichts befremdendes in sich, seitdem man weiss, dass die Regulationen aller sog. willkürlicher Bewegungen vom Gehirn ausgehen: — hier müssen offenbar am ehesten die Angriffspunkte für die allgemeinen Regulationen sowohl mit positivem als mit negativem Charakter liegen. Wäre das Verhalten gegen die Reize aller Querschnitte des Gehirns absolut gleich gewesen, so würde man genöthigt sein hieraus zu schliessen, dass die Angriffspunkte für beide Wirkungen die nämlichen sind. Da es aber Unterschiede in dem betreffenden Verhalten giebt, so folgt hieraus, dass jene Theile des Mittelhirns, deren Reizung die Depressionseffekte am reinsten und leichtesten hervorbringt, als vorzügliche Angriffspunkte für die von vorne herkommenden Regulationen mit negativem Character betrachtet werden müssen.

Man muss jetzt mit anderen Worten die Hemmungsvorgänge für die Rückenmarksreflexe in das Rückenmark selbst, als den peripherischen Theil des Apparates, verlegen, wie es mit der Hemmungsvorrichtung des Herzens der Fall ist; und den mittleren Theilen des Gehirns etwa die Bedeutung der Ursprungsorte der herzhemmenden Fasern in dem v. M.; oder noch eher die Bedeutung der von den Accessoriuskernen nach vorne ziehenden und die Thalami optici durchsetzenden Bahnen zuschreiben, insofern letztere durch die Erregungen, gleich dem v. M., die Thätigkeit des Herzens hemmen.

Die Hauptresultate meiner ersten Arbeit über die Hemmungen haben somit die neue Probe ausgestanden; die Erfolge der Mittelhirnreizung entsprechen in der That den hemmenden Einflüssen des Gehirns auf die Reflexe und die gleichen Effecte der peripherischen Reizung den excito-hemmenden Wirkungen.

EIN ZUSAZT ZU DEM ARTIKEL «INHIBITION» VON S. I. MELTZER

Mein Antheil an der Entwicklung der Frage über die Hemmungen im Gebiete des Nervensystems scheint in der ausländischen Literatur nur auf Grund meiner ersten Abhandlung über diesen Gegenstand (Physiol. Stud. üb. d. Hemmungsmech. u. s. w. Berlin, 1863) bekannt zu sein; obgleich in meinen anderen Arbeiten wesentliche Zusätze zu den Befunden der ersten Arbeit enthalten sind. Dieses ersehe ich aus einem Aufsatz von S. J. Meltzer, unter dem Titel «Inhibition» (New York Med. Journ. for May 13, 20 and 27, 1899), worin der Verfasser die gesammte Literatur der Frage anführt und nur meine erste Abhandlung citirt. Da ich meine von Meltzer unerwähnt gebliebenen Thatsachen auch für den heutigen Stand der Frage für wichtig halte, so erlaube ich mir dieselben den Fachmännern in Erinnerung zu bringen.

In meiner oben citirten Arbeit habe ich, nachdem die Depression der Rückenmarksreflexe in Folge der Reizung gewisser Hirntheile festgestellt war, noch die Frage zu entscheiden gesucht, ob dieselbe Depression auch auf reflektorischem Wege zu erhalten sei. Zu dem Ende wurden Versuche mit starker Reizung der Haut angestellt, und da letztere mehr oder weniger starke Reflexbewegungen auslöst, musste das Reflexvermögen des Rückenmarks erst nach Beruhigung derselben gemessen werden. Diese Form des Versuches bezeichnete ich schon damals als eine mangelhafte (l. c. S. 30), da dieselbe nur die Nachwirkung der sensiblen Reizung und nicht den unmittelbaren Einfluss derselben auf die Reflexe zu beobachten gestattet. Das Uebel schien mir aber damals unvermeidlich, da zu jener Zeit keine systematischen Versuche am Frosche mit Reizung seiner sensiblen Nerven existirten und man zu glauben berechtigt war, dass die Reizungserfolge sich gleich bleiben, ob man einen gegebenen sensiblen Nerv oder seinen peripherischen Endapparat zu reizen hat. In Folge dieses Umstandes konnte die aufgeworfene Frage nicht mit genügender Schärfe beantwortet werden.

Die Entscheidung derselben hat erst meine spätere Untersuchung «Ueb. d. elektr. u. chem. Reiz. d. sensibl. Rückenmarksnerv. d. Frosch, Graz, 1868» gebracht. Hier wurde anstatt der Haut der n. ischiadicus gereizt und die Reflexe entweder an den vorderen Pfoten eines unbeweglich fixirten Thieres oder an dem locomotorischen Apparate frei sitzender Thiere beobachtet[1].

---

[1] Die Beobachtungen wurden namentlich sowohl an geköpften Fröschen (gleich unterhalb der Rautengrube) als an Thieren mit abgetragenen Hemisphären (durch einen Stich in die thalami optici) angestellt. Der auf die letzte Weise operirte Frosch behält

Von solchen Versuchen werde ich folgende anführen.

I. Am geköpften Frosche:

a) löst ein schwaches Tetanisiren des Nerven eine einzige Bewegung der vorderen Extremitäten aus (l. c. S. 16);

b) löst ein starkes Tetanisiren des Nerven manchmal eine flüchtige Bewegung der vorderen Extremitäten, mit nachfolgender Ruhe von einigen Secunden (l. c. S. 18) und starker Depression der Hautempfindlichkeit während der Ruhepause (l. c. S. 19) aus:

c) wird die Unterbrechung der Reizung während der Ruhepause stets durch eine starke Bewegung beantwortet; zugleich kommt damit die erloschene Hautempfindlichkeit zurück (l. c. S. 19).

II. Am Frosche mit abgetragenen Hemisphären, in frei sitzender Lage:

d) löst ein schwaches Tetanisiren des Nerven sofort einen Sprung aus (l. c. S. 22); hingegen

e) bleibt das Thier bei starkem Tetanisiren der Nerven ruhig sitzen, namentlich wenn die Reizung den Nerv von Anfang an in voller Stärke trifft (l. c. S. 23); hierbei

f) sinkt die Empfindlichkeit der vorderen Pfoten (auf das Kneifen) auf Null herab; und

g) macht der Frosch sofort einen Sprung, sobald die Reizung unterbrochen wird; zugleich kommt damit die erloschene Hautempfindlichkeit wieder zu Stande.

Noch eclatanter fällt der Versuch *e* mit seinen Folgen bei chemischer Reizung (mit *NaCl*) des Nerven aus, da der Frosch diese Reizung Minuten lang aushalten kann, ohne sich zu rühren, und man dadurch die Möglichkeit erhält das allmälige Erlöschen der Hautempfindlichkeit in den Pfoten zu beobachten. Wartet man den Zeitpunkt ab, wo die Finger aller Pfoten des Frosches auf ein starkes Kneifen mit der Pincette unempfindlich geworden sind (was gewöhnlich erst nach 4′—5′ zu Stande kommt), und durchschneidet hierauf den Nerv oberhalb der gereizten Nervenstrecke, so macht der Frosch einen gewaltigen Sprung (manchmal mit einen Schrei) und Hautempfindlichkeit kehrt sogleich zurück (l. c. S. 61) [1].

Bedenkt man

1) dass ein und derselbe Nerv bei schwacher Reizung excitomotorisch wirkt und bei starker keine Bewegungen auslöst; und

2) dass dieses Ausbleiben der Bewegungen keineswegs auf eine Ueberreizung, resp. eine Erschöpfung, der Excitomotoren zurückgeführt werden kann, da das Aufhören der Reizung sofort mit einer starken Bewegung beantwortet wird; so können in den Versuchen sub *b*) und *e*) *die Erfolge der Nervenreizung*

---

sein Locomotionsvermögen im ungeschwächten Grade bei, reagirt auf alle schmerzerregenden Einflüsse mit locomotorischen Bewegungen und benimmt sich zugleich damit, namentlich ausserhalb der Reizung, so ruhig und so regungslos (in sitzender Lage), dass man an ihm alle die zur Reizung des Nerven nöthigen Manipulationen mit derselben Bequemlichkeit wie an dem motorischen Nerven eines stromprüfenden Schenkels vornehmen kann.

[1] Diesen Versuch so wie die Versuche mit schwacher und starker elektrischer Reizung habe ich (im Sommer 1867 oder 1868) in Leipzig in Gegenwart der Professoren Donders und Ludwig demonstrirt. Herr Professor Engelmann (damals Assistent von Prof. Donders) war auch dabei.

nicht anders denn als Hemmungen der Rückenmarksreflexe (welche aus der Erregung des gereizten Nerven entstehen sollten!) *und der Locomotion aufgefasst werden.* Was ferner die diese Effecte mitbegleitende Erscheinung der unterdrückten Hautempfindlichkeit anbelangt, so könnte dieselbe allerdings am einfachsten so erklärt werden, dass Reizung des Ischiadicus einer Seite schon genügend ist alle reflektorischen Apparate des Rückenmarks und des verlängerten Marks in Unthätigkeit zu versetzen, um so mehr als sich alsdann alle Folgen der Nervenreizung auf eine und dieselbe Ursache zurückführen liessen. Es war jedoch möglich diese Erscheinung noch durch eine Modification der Erregbarkeit in den peripherischen Endapparaten der sensiblen Nerven zu erklären [1].

Somit entstand neben der bejahenden Entscheidung der Frage über die Hemmungen von der Peripherie aus eine neue unentschiedene Frage.

Einen weiteren Schritt in das Verständniss unserer Erscheinungen brachte meine Arbeit «Galvanische Ersch. an d. verl. Mark d. Frosch». Pflüger's Archiv Bd. XXVII. Bei der grossen Verbreitung dieser Zeitschrift brauche ich nicht mich in weitläufige Beschreibungen einzulassen; es wird genügen die dem soeben Gesagten ensprechenden Thatsachen einfach anzuführen.

a) Es ist bekannt, dass Frösche, denen das verlängerte Mark von den mittleren Hirntheilen abgeschnitten ist, entweder unaufhörlich kriechen, oder eine durch unregelmässige Pausen unterbrochene Reihe von Bewegungen, und zwar ohne jeglichen äusseren Anstoss, ausführen (l. c. S. 532).

b) Dementsprechend zeigt das aus der Wirbelsäule sammt dem Rückenmarke herauspräparirte und mit seinem Längs-Querschnitt zum Galvanometer abgeleitete verlängerte Mark eine unregelmässige Reihe von spontanen negativen Stromesschwankungen, denen eine ebensolche periodische Reihe von Erregungen zu Grunde liegt (l. c. S. 532).

c) Ist die Cerebrospinalaxe in Verbindung mit dem Ischiadnerven herauspräparirt und das v. M. zum Galvanometer wie früher abgeleitet, so bewirkt ein dauerndes Tetanisiren des Nerven (mit Strömen solcher Stärke, welche am Frosche bei Reizung des Vagus das Herz zum Stillstand bringen) nebst einer anfänglichen negativen Schwankung einen Minuten lang dauernden Stillstand der spontanen Stromesschwankungen (derselbe wird während dieser Zeit meistens durch eine einzige oder ein Paar höchst schwacher Schwankungen unterbrochen) (l. c. S. 550).

d) Die Nachfolgen einer starken Reizung sind ebenfalls constant und beginnen (entweder sogleich nach der Unterbrechung der Reizung oder einige Augenblicke später) mit einer starken negativen Schwankung, auf welche eine Reihe sehr frequenter kleinerer Schwankungen folgt (l. c. S. 551).

e) Wird endlich gleichzeitig mit dem dauernden Tetanisiren des Nerven und zwar sobald sich der Stillstand der Schwankungen eingestellt hat, das Rückenmark direct mit Schliessungen eines Kettenstromes in absteigender Richtung gereizt, so erweist sich das Rückenmark gegen diese sonst sehr wirksame Reizungsart unempfindlich, indem dieselbe jetzt keinen Ausschlag der Nadel im Sinne der negativen Schwankung giebt.

[1] Für die Hemmungen aus den mittleren Hirntheilen ist es im Gegentheil längst bewiesen, dass die Erregbarkeit der Endapparate der sensiblen Nerven hierbei nicht unterdrückt wird: die taktilen Reflexe dauern nämlich fort.

Es ergiebt sich aus diesen Thatsachen ohne Weiteres, *dass man in dem Versuche sub c, ein Analogon des Versuches mit Reizung des Vagus hat, indem in beiden Fällen die in den Organen stattfindenden periodischen Erregungen durch gleiche Reizungen der zuleitenden Nerven zum Stillstand gebracht werden. Für die Einwirkung des Vagus gilt der Stillstand des Herzens als Hemmung; dasselbe muss auch für die entsprechende Einwirkung des sensiblen Nerven auf das verlängerte Mark angenommen werden, weil auch hier der Stillstand keineswegs auf eine Ueberreizung oder Erschöpfung der Excitomotoren zurückgeführt werden kann.*

Die Erscheinungen der Nachwirkung tragen im Gegentheil einen solchen Charakter, als fände während der Hemmung eine Ansammlung von Energie in den Excitomotoren des verlängerten Markes statt, welche sofort in explosionsartige Bewegungen übergeht, so wie der die Entladungen hemmende Vorgang weggeräumt ist.

Nebst diesem sind die galvanischen Erscheinungen an der Cerebrospinalaxe vollkommen analog denjenigen am Frosche mit abgetragenen Hemisphären: spontane Schwankungen des ruhenden Stromes entsprechen den Zwangbewegungen; und der Stillstand der ersteren unter dem Einflusse der Nervenreizung—dem Ausbleiben der Locomotion. Aber auch für diejenige Erscheinung, welche wir oben mit dem Namen «unterdrückte Hautempfindlichkeit» belegten, haben wir an der herauspräparirten Cerebrospinalaxe in der Unempfindlickeit des Rückenmarks gegen die directen Reize (Vers. *e*) nicht nur ein Analogon, sondern auch eine Erklärung. Damit war die oben in Bezug auf das Erlöschen der Hautempfindlichkeit aufgeworfene Frage erledigt.

ZUR FRAGE NACH DER EINWIRKUNG SENSITIVER REIZE AUF DIE MUSKELARBEIT DES MENSCHEN[1].

1) Vorliegende Untersuchung wurde in der Absicht unternommen, die äusseren Erholungsbedingungen der durch eine unausgesetzte Thätigkeit ermüdeten Arbeitsorgane am Menschen (an mir selbst) zu erforschen. Hierbei ging ich von folgenden Betrachtungen aus. Die unausgesetzte maschinenartig-regelmässige Arbeit der Athemmuskeln, sowohl in der Ruhe des Körpers als bei den Schwankungen der respiratorischen Thätigkeit (man denke an den extremen Fall solcher Scghwankungen nach der Durchschneidung beider vagi, wobei die Bewegungen dennoch mit maschinenartiger Regelmässigkeit fortzuschreiten fortfahren!), zeigt den Weg an, wie man zu der Lösung der gestellten Aufgabe am einfachsten gelangen könnte. Die Athembewegungen sind ja unermüdlich, und die Unermüdlichkeit derselben hängt höchst wahrscheinlich davon ab, dass die mit einer jeden Einathmung entstehenden Ermüdungsminima des arbeitenden Organes stets durch die darauffolgenden Ruhepausen aufgehoben werden. Es muss, mit anderen Worten, ein bestimmtes, für die Unermüdlichkeit der Arbeit unerlässliches Verhältniss zwischen den Factoren der Arbeit (Frequenz und Tiefe der Bewegungen, sowie die Grösse der zu überwindenden Widerstände) und der Dauer der Ruhepausen vorhanden sein. Die erholende Wirkung der Ruhepausen bleibt für das Athmen allerdings unbewiesen; wir haben jedoch ein anderes Beispiel, wo deren Bedeutung unzweifelhaft ist—ich meine das Gehen des Menschen mit und ohne Belastung des Körpers. Hier existirt ganz sicher für jeden grösseren Unterschied in der Belasturg eine bestimmte Aenderung des Rythmus und der Excursionsweite der Beinbewegungen, mithin auch eine Aenderung in der Dauer der Ruhepausen; hier wie dort ist die maschinenartig-regelmässige Fortsetzung der Bewegungen nur mit solchen Veränderungen aller Faktoren der Arbeit verträglich; hier wie dort endlich ist das maschinenartig-regelmässige Fortschreiten der Bewegungen nur bei dem automatischen Fortschreiten derselben möglich. Leider ist das Gehen für das beabsichtigte Studium ebenso untauglich wie die Athembewegungen. Dieses ist offenbar nur an einer bestimmten viel kleineren Muskelgruppe möglich, welche einer stundenlang dauernden und ebenso regelmässigen Arbeit wie die des Athmens (oder des Gehens), zudem bei verschiedenen Belastungen, fähig

---

[1] Die Resultate der Untersuchung wurden bereits am 6 Mai 1902 dem Vorstand der Physiologischen Gesellschaft zu Moskau vorgelegt.

wäre und noch eine direkte graphische Aufzeichnung ihrer Leistungen gestatten würde.

Als die geeignetesten Nachahmungsobjecte der Athembewegungen haben sich die Sägebewegungen des Armes in sitzender Lage des Körpers erwiesen, weil sie dem Rythmus nach den Athembewegungen sehr nahe stehen und allen übrigen oben aufgezählten Bedingungen genügen.

Erst muss die benutzte graphische Methode beschrieben werden.

2. In den beistehenden schematischen Zeichnungen sind alle wesentlichen Theile des Apparates angegeben. Die obere Platte *ac* (Fig. 1) des an

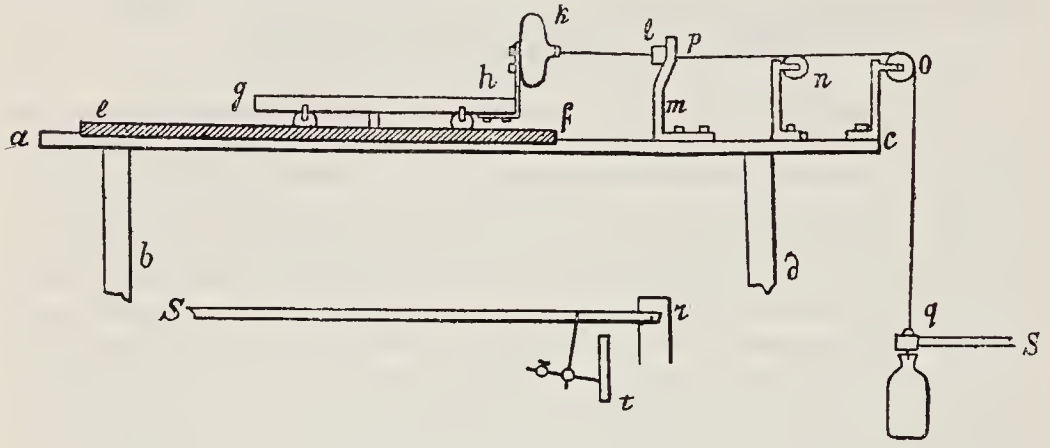


Fig. 1 (obere) u. 2 (untere).

einen schweren Tisch angeschraubten Gestelles *(abcd)* trägt nebst zwei Rails *(ef)* einen länglichen Ausschnitt in der Mitte für den Führungsstift der zwischen den Rails hin- und zurückrollenden rinnenförmigen Plattform *gh*, auf welcher der Unterarm des arbeitenden Armes ruht. Durch deise Einrichtung wird die unveränderliche Richtung der Bewegungen, resp. die unveränderliche Wirkung einer und derselben Muskelgruppe gesichert. Der an die Plattform angeschraubte Handgriff *k* geht in eine eiserne Stange *kl* mit dem darauf sitzenden hölzernen Querbälkchen *l* über, welches mit dem doppelten starken Bugel *m* die Arretirungsvorrichtung darstellt. Vermittelst der an *l* angebundenen, über Rollen *n* und *o* gehenden Schnur *pg* werden die Bewegungen der Plattform, resp. die Bewegungen des Arms an das freie Ende des mit verschiedenen Gewichten zu belastenden Hebels (*qsr*) von 120 ctm. Länge übertragen. Dieser bewegt sich in verticaler Ebene und trägt seine Bewegungen in verkleinertem Maasstabe (Fig. 2) auf die berusste Glasplatte *t* von 40 ctm. Länge auf. Der Rahmen, worin letztere eingesetzt ist, sitzt auf einer zwischen den Rails beweglichen und auf dieselbe Weise eingerichteten Plattform wie die den Unterarm tragende. Da ich ferner, bei der stundenlang dauernden Aufzeichnung der Hebungen noch die mittlere Grösse der Hubhöhen zu bestimmen hatte, so war es angezeigt die Verschiebung der Glasplatte möglichst langsam zu machen, jedoch so, dass keine einzige Hebung verloren ginge. Dies erreichte ich auf folgende Weise. Ersetzt man in einer Wanduhr (einfachster Art) mit herabfallendem Uhrgewicht den Pendel durch immer kürzere und kürzere Pendelchen, ohne das Gewicht zu än-

dern, so bekommt man ein immer rascheres, jedoch stets ziemlich gleichmässiges Herabfallen des letzteren; und dieser verticale Zug lässt sich sehr leicht in einen horizontalen umwandeln. In Fig. 3 ist schematisch das untere Ende der das Gewicht tragenden Uhrkette dargestellt, und zwar in der Lage, wenn das Gewicht aufgezogen ist. *r* ist die die Richtung der Züge umändernde Rolle; dieselbe muss offenbar so weit in das Innere des Vierecks (aus starkem Draht) hineingeschoben werden, dass der über dieselbe von dem Haken *h* überschlagene Faden bei dem Absteigen des Uhrgewichtes beständig senk-

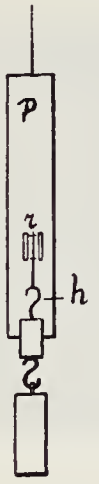


Fig. 3,

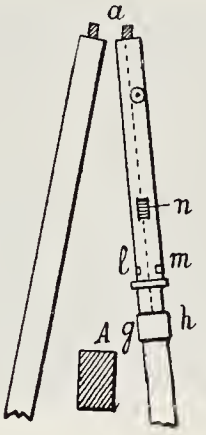


Fig. 4,

recht bleibe; dann bleibt der Zug stundenlang unveränderlich. Der Abstand von *r* bis *p* muss der Länge der Glasplatte entsprechen. Die Verschiebungsgrösse meiner Glasplatte beträgt ungefähr 2 ctm. in 5′; und da ich meist mit 20 Hebungen per 1′ arbeite, so kommen 5 Verkürzungen (5 Hebungen) und ebenso viele Verlängerungen des Arms auf 1 mm. Zuerst wurde der Appart für die Arbeit nur eines Arms construirt; später stellte sich die Nothwendigkeit heraus denselben für beide Arme einzurichten; und nun besteht der Myograph (Fig. 4) aus zwei auf die oben beschriebene Weise eingerichteten Hälften (mit zwei gesonderten Hebeln und einer gemeinsamen Glastafel), welche nach vorn spitz zulaufen (ungefähr unter einem Winkel von 30°),— letzteres deshalb, weil die zu den Versuchen gewählten Sägebewegungen bei mir am ungezwungensten unter einem Winkel von ungefähr 75° zu der Frontalebene des Körpers erfolgen. Mit *A* ist der Sitz des Experimentators angegeben.

3. *Vorversuche.* Da mir eine unausgesetzte, stundenlange Arbeit bei verschiedenen Belastungen des Arms bevorstand, so war ich genöthigt zu den Versuchen relativ leichte Gewichte zu nehmen; da andererseits die Stärke und die Geschwindigkeit der Muskelzüge sowohl in jedem einzelnen Versuche als in den untereinander zu vergleichenden Fällen constant bleiben sollten, so trat mir bei der Wahl der Bewegungsformen von Anfang an folgende Schwierigkeit entgegen. Die von *Mosso* in die Ergographie eingeführte Methode absichtlich maximaler Züge, bei relativ (zu der angewandten Muskelkraft) starker Belastung, passte in unserem Fall nicht, weil wir mit relativ leichten Lasten zu thun hatten, und weil es sehr schwer und lästig ist jeden einzelnen Zug so

zu sagen im Bewusstsein zu halten, wenn man Tausende von solchen Zügen auszuführen hat. Andererseits konnte man von den gewählten Sägebewegungen des Arms nicht voraussagen, ob sie ebenso automatisch und regelmässig wie die Gehbewegungen fortdauern können. Jedenfalls war ich auf das Erlernen solcher Bewegungen angewiesen. Glücklicherweise erwies sich dieses Erlernen nicht so schwer, wie ich es mir anfangs dachte.—Versucht man nämlich bei Proben dieser Art wiederholt nur auf die Schläge des Metronoms zu achten, indem man dieselben zählt, und sucht man zugleich die Bewegungen

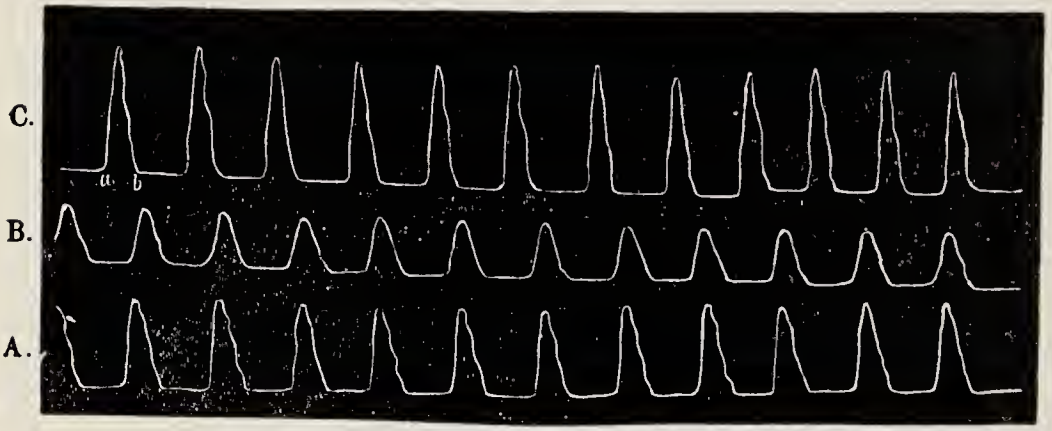


Fig. 5.

des Arms denselben so anzupassen, dass der Anfang und das Ende jeder doppelten Bewegung (hin und zurück) mit diesen Schlägen zusammenfalle, so erlernt man diese einfache akustisch-motorische Reihe gewiss schneller als ein Lied oder eine Fabel auswendig; und sobald dieses erreicht ist, erkennt man an den Myogrammen, dass unter gleichen Bedingungen die Hebungen, bei ziemlich gleicher Höhe, gleich steil (d. h.—mit gleicher Geschwindigkeit) aufsteigen und die Ruhepausen ebenfalls ziemlich gleich ausfallen. Dies ist übrigens leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, mit welcher Schnelligkeit und Genauigkeit in einem Orchester, bei der Ausführung eines *gut erlernten* Stückes, die Armbewegungen z. B. der Violinspieler denen des Dirigenten folgen.

Als Beispiel führe ich die drei beigefügten Myogramme (Fig. 5) eines Versuches an, in welchem die Bewegungen meines Arms in drei verschiedenen Perioden der Arbeit auf einer rotirenden Trommel registrirt wurden (und zwar so, dass ich es nicht sehen konnte), namentlich vor dem Eintreten der Ermüdung (A), nach dem Eintreten derselben (B) und zu der Zeit, wenn die automatischen Bewegungen durch sensitive Einflüsse (siehe darüber weiter) verstärkt wurden (C). In allen 3 Fällen (wie in allen später zu beschreibenden Versuchen) folgen die Verlängerungen des Arms unmittelbar auf dessen Verkürzungen (wie die Ein- und Ausathmungen bei der Respiration), und zwar so, dass der Anfang jeder Verkürzung und das Ende jeder Verlängerung mit je zwei nächstfolgenden Schlägen zusammenfallen; deshalb sind sowohl die Abstände *ab* voneinander als die Ruhepausen überall gleich. Man sieht ferner (bei B), dass die Ermüdung mit einer bedeutenden Ernie-

drigung der Bewegungen verknüpft ist. Sonderbarerweise macht sich diese Aenderung als eine frequentere Aufeinanderfolge der Schläge fühlbar.

Nachdem ich die soeben beschriebene Kunst erworben hatte, waren noch die günstigsten Bedingungen des Rythmus und der Belastung zu finden, unter welchen eine unaufhörliche, stundenlange Arbeit ohne Ermüdung möglich wäre. Hierbei liess ich mich durch die Analogie mit den Athembewegungen leiten. Diese nehmen bei der Muskelarbeit an Frequenz zu und sind dem Gefühle nach von kaum merklicher Anstrengung begleitet. Dementsprechend blieb ich bei 20 Hebungen per 1′ und bei einer Belastung (1,4 kilo in runder Zahl) stehen, bei welcher die Anstrengungen obgleich deutlich, jedoch noch als sehr leichte sich fühlen lassen.

4. Jetzt begann der langweiligste Theil der Arbeit—das Einüben in das stundenlange Arbeiten[1] ohne Unterbrechung; und da es mir unmöglich war, mich auf die Dauer in eine Maschine umzuwandeln, so entschloss ich mich daneben noch die Lösung einer für die Praxis nicht unwichtigen Frage über die relative Wirksamkeit verschiedener Erholungsweisen ermüdeter Muskeln vorzunehmen. Die Uebungen gaben mir zuletzt die Möglichkeit eine 4-stündige Arbeit (4800 Hebungen) ohne Ermüdung auszuführen, und die Nebenversuche, namentlich der Vergleich zwischen zwei Erholungsweisen des ermüdeten Arms—Erholung durch zeitweiliges Aufhören der Arbeit und die durch ein ebenso langes Uebertragen der Arbeit auf den anderen Arm—ergaben ein höchst unerwartetes Resultat. Seit jener Zeit hat sich meine Arbeit, so zu sagen, entzweit indem ich meine Zeit bald der weiteren Ausführung des vorgesteckten allgemeinen Planes, bald dem Ausbeuten des unerwarteten Fundes widmete. Schliesslich blieb die erstere unvollendet, als ich mit dem zweiten schon fertig wurde. Auch bezieht sich alles weiter Auszuführende ausschliesslich auf den unerwarteten Fund; und wenn ich dessenungeachtet so viel von dem bei Seite gelassenen Plane und dessen möglicher Ausführung gesprochen habe, so ist dieses deshalb geschehen, weil die Beschreibung der Untersuchungsmethode unentbehrlich war, und diese ihren Grund nur in dem allgemeinen Plane hatte.

Ehe ich jedoch zu dem neuen Gegenstande übergehe, will ich noch am Schlusse des Paragraphen zwei Myogramme (Fig. 6) unausgesetzter Arbeit ohne Ermüdung anführen. Das längere (*a*) bezieht sich auf die Arbeit von 70′ mit 700 gr. Belastung und 30 Hebungen per 1′, enthält also 2100 Hebungen; und in dem zweiten (*b*) sind getrennt voneinander 3 verschiedene Stadien der obenerwähnten 4-stündigen Arbeit, bei 1,365 Kilo Belastung und 20 Hebungen per 1′, angegeben, nämlich die letzten 15′ der 1-en Stunde, die letzten 3′ der dritten und die letzten 20′ der 4-ten Stunde. Beide Myogramme zeugen, glaube ich, deutlich genug für die Abwesenheit von Ermüdung und für die Constanz der automatischen Bewegungen unter den unveränderten Bedingungen,—obgleich es möglich ist, dass sowohl in *a* als in *b* die Erwartung baldiger Erlösung von der langweiligen Arbeit die Bewegungen unabhängig von meinem Willen anspornte; denn in beiden Fällen, nahe dem Schlusse des Versuches, nahmen die Ordinaten an Höhe etwas zu.

---

[1] Manchmal wirkte die dauernde Einförmigkeit der Bewegungen sogar hypnotisirend—man wurde schläfrig, und dann nahmen die Hubhöhen an Grösse bedeutend ab.

5. In allen jetzt zu beschreibenden Versuchen gilt eine stetige Abnahme der Hubhöhen als Zeichen der eingetretenen Ermüdung (was auch dem Gefühle nach ein solches ist) und, umgekehrt, jede eine Zeitlang anhaltende Zunahme derselben gilt als Zeichen der Erholung. In allen Versuchen [mit drei Ausnahmen] bediente ich mich automatischer Bewegungen. Die ermüdende Arbeit entsprach (mit 2 Ausnahmen [1] stets einer Belastung von 3,4 Kilo (in runder Zahl) bei 20 Hebungen per 1′.

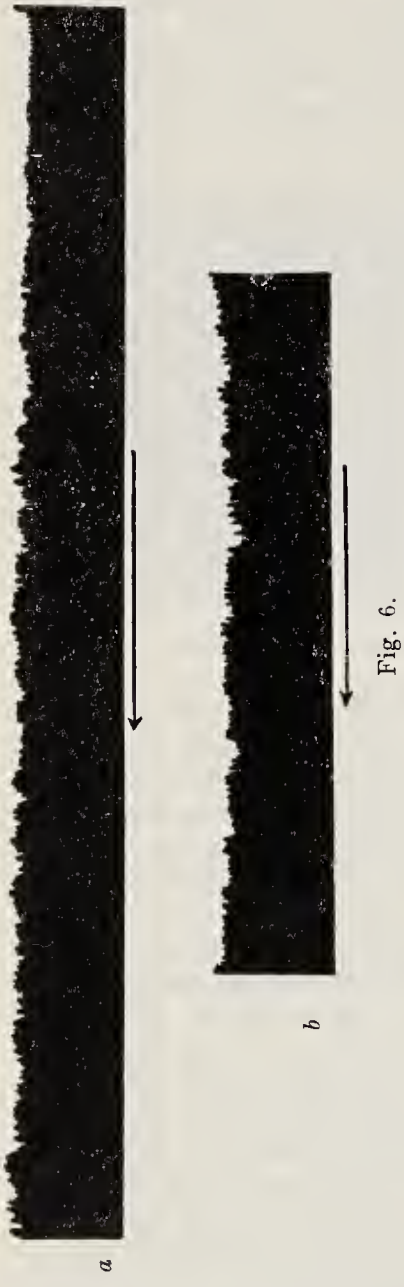


Fig. 6. *a*—obere, *b*—untere Curve.

Der obenerwähnte Versuch mit dem unerwarteten Resultat bestand in Folgendem.— Zuerst arbeitete der rechte Arm bis zur Ermüdung; dann folgte eine Ruhepause von 5′ (d. h. eine Unterbrechung der Arbeit), während welcher der Arm sich zu erholen hatte; hierauf arbeitete der rechte Arm wiederum bis zur Ermüdung; und nun folgte eine zweite Ruhepause für den rechten Arm, während welcher der linke Arm 5′ lang arbeitete; gleich darauf arbeitete der rechte Arm zum dritten Mal. Kurz, es wurden an dem zweimal ermüdeten rechten Arm die Erholungseffecte zweier Einwirkungen verglichen—einfacher Ruhe und einer ebenso langen aber mit der Arbeit des anderen Arms verbundener Ruhe.

Als ich diesen Versuch zum ersten Mal anstellte, war ich nicht wenig uberrascht zu sehen, dass mein linker Arm bedeutend stärker arbeitete als der rechte, obgleich ich nicht links bin und vor diesem Versuche monatelang nur mit dem rechten Arm gearbeitet hatte (allerdings bei schwachen Belastungen), folglich derselbe an Kraft hätte zunehmen müssen. Mein Erstaunen stieg noch mehr, als es sich herausstellte, dass die auf die Arbeit des linken Arms folgende Arbeit des ermüdeten rechten bedeutend stärker ausfiel als die auf die erste Ruhepause folgende. Leider wurde dieser Versuch mit einigen darauf folgenden Proben zu einer Zeit angestellt, wo ich abreisen musste; und als ich nach einigen Monaten zu der Arbeit zurückkehrte, befand ich mich in Betreff des einst Gefundenen in einer anderen Lage: damals war kein Hintergedanke im Spiele gewesen, jetzt trat ich an die Sache mit dem natürlichen Wunsche heran, dieselbe bestätigt zu finden, da ich Zeit

[1] Diese zwei Fälle beziehen sich auf die Arbeit bei viel stärkerer Belastung mit 7,5 und 10,5 Kilo.

genug gehabt hatte an die mögliche Wichtigkeit derselben zu denken.— Ich lief, mit anderen Worten, Gefahr bei der Wiederholung dieser Versuche der Autosuggestion anheimzufallen; dies um so mehr, als es mir bekannt war, dass die durch langandauernde Hebungen relativ leichter Lasten bewirkte Müdigkeit keineswegs die Möglichkeit starker willkürlicher Bewegungen inmitten dieses Zustandes ausschliesst. Glücklicherweise hielt ich an der Unbefangenheit der ersten Beobachtung fest und fuhr bei jeder Gelegenheit fort den Versuch zu wiederholen; denn bald bemerkte ich zwei Umstände, welche mir die Gewissheit gaben, dass ich es mit keinen Selbsttäuschungen zu thun hatte. Setzt man nämlich die automatischen Bewegungen bis zum Entstehen eines klar ausgesprochenen Gefühles der Ermüdung (in dem Arm) fort, [wozu eine unaufhörliche Arbeit von 30′ bei mir genügte], wobei man die zu überwindenden Widerstände als vergrössert und die Bewegungen als träge verlaufend fühlt, so vergeht dieser Zustand auch nach einer Ruhe von 10′ nicht, wie es die darauffolgenden Bewegungen des Arms zeigen. Dauert hingegen die Ruhepause nur halb so viel Zeit, jedoch mit der Arbeit des anderen Arms verbunden, so verschwindet das Gefühl der Ermüdung für einige Secunden gänzlich, indem der Arm während dieser Secunden wie neubelebt arbeitet. Dieser Zustand des erhöhten Arbeitsvermögens dauert übrigens kaum mehr als 1′ um hierauf desto rascher zu sinken, je grösser bie vorherige Ermüdung gewesen war. Noch beweisender sprach für den veränderten Zustand des ermüdeten Arbeitsorgans (infolge der vorangegangen Arbeit des anderen Arms) der zweite von den obenerwähnten Umständen, weil dieser offenbar nicht vorausgesetzt werden konnte:—ich meine die mit dem erfolgten Anwachsen der Hubhöhen unwillkürlich entstehende Neigung die Bewegungen frequenter auszuführen—eine Thatsache, auf welcher ich mich einige Mal faktisch ertappte, ohne dieselbe erwartet zu haben.

Als Beispiele führe ich 5 Myogramme (Fig. 7) an, von welchen die ersten 2 Paare (c_1 und c_2, c_3 und c_4) die erholende Wirkung der einfachen Ruhe und der mit der Arbeit des linken Arms verbundenen auf den ermüdeten rechten Arm zeigen; während in dem Myogramm c_5 die entsprechende Wirkung der Arbeit des rechten Arms auf die des ermüdeten linken dargestellt ist.

Die Zeichen r. A, l. A. und × bedeuten hier, wie überall weiter: Arbeit des rechten Arms, Arbeit des linken Arms und Ruhe. Die Dauer der Arbeit und die der Ruhepausen sind hier, wie überall weiter, in Minuten angegeben.

Ich habe absichtlich die zwei ersten an verschiedenen Tagen erhaltenen Paare als Beispiele des in Rede stehenden Einflusses angeführt, weil sie zugleich (ebenfalls paarweise) eine in die Augen fallende Aehnlichkeit in dem Verlaufe der sich allmälig kundgebenden Ermüdung des rechten Arms zeigen. Würde man im Stande sein zwei solche Bilder absichtlich auszuführen, wenn man zudem nicht sieht, was der Stift auf der Glasplatte schreibt? Diese Bilder sind somit Zeugen, dass die automatische Arbeit auch bei der Ermüdung so gut wie eine maschinenartig-regelmässige ist. Das Myogramm c_5 zeigt andererseits, um wie viel stärker mein linker Arm in Vergleich mit dem rechten arbeitete.

Nachdem ich mich auf die oben angegebene, allerdings rein-subjective Weise, von der Richtigkeit des Beobachteten überzeugt hatte, war der weitere Weg der Versuche von selbst angezeigt. An dem zeitweiligen Anwachsen des

Arbeitsvermögens des ermüdeten Arms konnten nur die die Bewegungen des anderen Arms begleitenden sensitiven Eindrücke, resp. sensible Erregungen des Nervensystems, schuld sein; folglich waren bei den weiteren Versuchen diese Einflüsse in erster Reihe durch gleichartige Einflüsse aus anderen Körpertheilen zu ersetzen und hierauf alle möglichen Erregungsweisen des Ner-

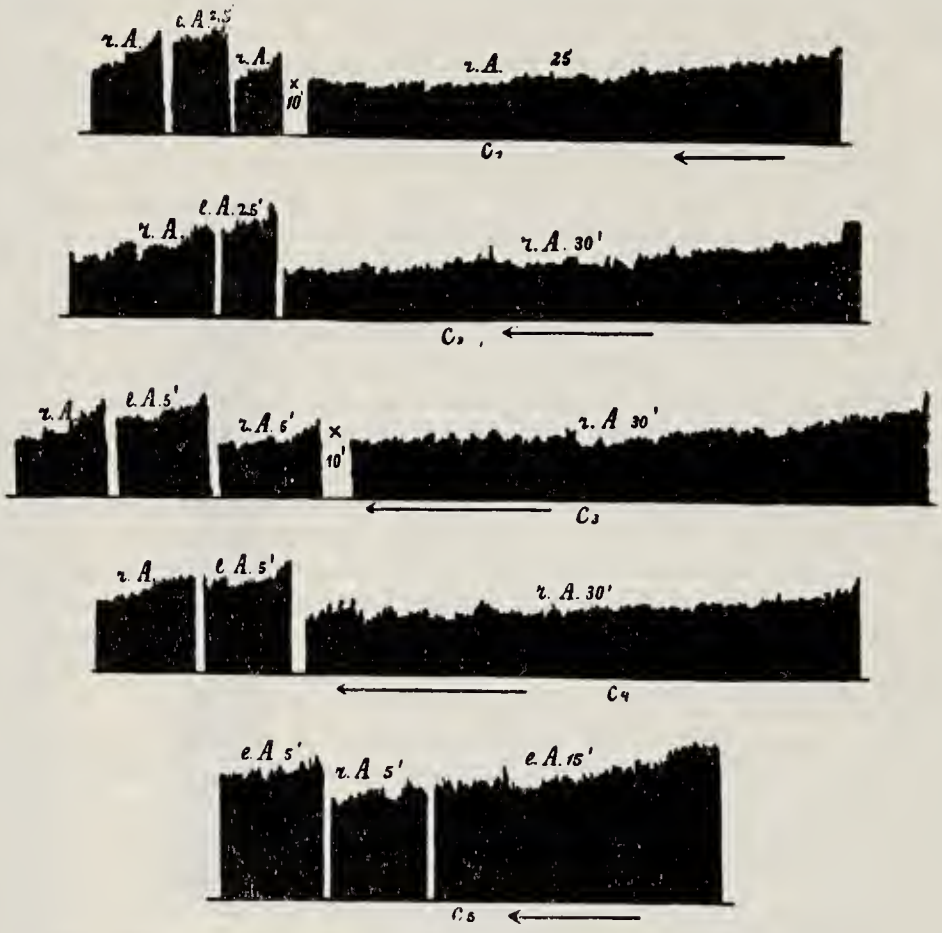


Fig. 7.

vensystems zu erproben. Von den ersteren wählte ich die Arbeit der Beine, von der unabsehbar grossen Mannigfaltigkeit der letzteren nur das Tetanisiren der Hand.

Mit der Beinarbeit hatte ich im Auge nicht bloss die weitere Bestätigung des auf eine andere Weise Gefundenen sondern noch die Möglichkeit zu erfahren, ob in dem Uebergange der Erregungen von der einen Seite des Körpers auf die andere etwas Specifisches liegt. Auch bestand die Arbeit beider Beine bei Heben der Last sowohl im Strecken der Beine in sitzender Lage des Körpers als im Beugen derselben in dem Ileofemoralgelenk. Natürlich wurden diese Bewegungen während der Ruhepausen des ermüdeten (rechten) Arms ausgeführt und konnten leider nicht registrirt werden; deshalb fallen ihre Arbeitszeiten in den angeführten Myogrammen d_1 und d_2 (Fig. 8) auf die leeren Zwischenräume, mit den Zeichen r. B. (rechtes Bein) und l. B.

(linkes Bein). Das Myogramm d_1 entspricht der Arbeit durch die periodischen Streckungen des flektirten Beins, das andere der Arbeit durch die Beugungen.

Aus diesen Myogrammen ist ohne Weiteres ersichtlich, dass das Arbeitsvermögen des ermüdeten Armes durch die Arbeit der Beine ebenfalls gesteigert wird (was übrigens jede starke Bewegung des Körpers thut, wie ich mich daneben überzeugt habe). Dagegen scheint kein Unterschied zwischen der

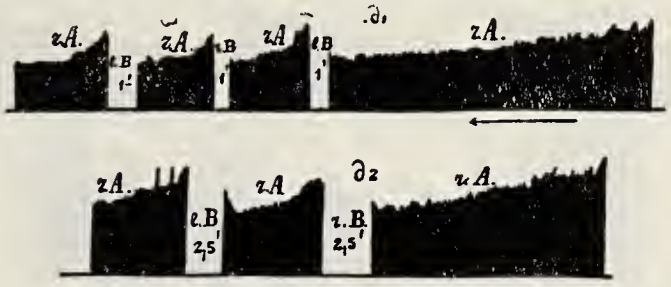


Fig. 8.

gleich- und der ungleichseitigen Lage der Erregungsstelle mit dem arbeitenden Organe vorhanden zu sein, was auch die Versuche mit dem Tetanisiren ergaben, zu denen ich jetzt übergehe.

6. Da in den beschriebenen Versuchen die ermüdende Arbeit meist auf den rechten Arm und die erholende auf den linken fiel, so wurde auch das Tetanisiren linkerseits und zwar an die Hand applicirt, indem der von derselben umfasste Handgriff der linken Plattform (für den Unterarm) die eine Elektrode darstellte, während die andere in Form eines metallenen Armbandes das untere Ende des Unterarms umfasste. Die Ströme dürften nicht muskelerregend wirken und wurden nur bis zum Entstehen eines Gefühles von Zittern in der Hand gesteigert.

Hier hatte ich 1) die Einwirkung des Tetanisirens an und für sich, d. h. unverglichen mit den anderen Erregungsweisen des Nervensystems, zu prüfen; 2) und 3) die Einwirkung des Stromes mit derjenigen der erregenden Armarbeit und derjenigen der Ruhe zu vergleichen, und 4) den Strom während der fortdauernden Arbeit des ermüdeten Arms wirken zu lassen.

In den hierauf bezüglichen Myogrammen e_1, e_2 und e_3 (Fig. 9) fällt das Tetanisiren auf die Ruhepausen des ermüdeten Arms, resp. auf die leeren Zwischenräume mit dem Zeichen *st*, wobei die Dauer des Tetanisirens in Minuten angegeben ist. In den Myogrammen e_4 und e_5 (Fig. 9) bedeutet dasselbe Zeichen *st* den Beginn des Tetanisirens, und die Strecke zwischen *o* und *o* in e_5 entspricht dem Aufhören der Reizung.

Die Resultate dieser Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1) wirken die das Tetanisiren begleitenden sensitiven Erregungen des Nervensystems auf das Arbeitsvermögen des ermüdeten Arms erhöhend (Myogr. e_1);

2) scheint diese Wirkung derjenigen der die Bewegungen der Glieder begleitenden Empfindungen gleich zu sein (Myogr. e_2); und

3) wirkt gleich diesen letzteren das Tetanisiren viel stärker als einfaches Ausruhen (Myogr. e_3); endlich

4) besteht die befördernde Wirkung auch während der fortdauernden Arbeit des ermüdeten Arms (Myogr. e_4 und e_5).

Schliesslich führe ich zwei Versuche an, welche die zwei Hauptergebnisse dieser Untersuchung (die Wirkung der die Arbeit der Glieder begleitenden sensitiven Erregungen und den Effect der elektrischen Reizung) unzweideutig beweisen.

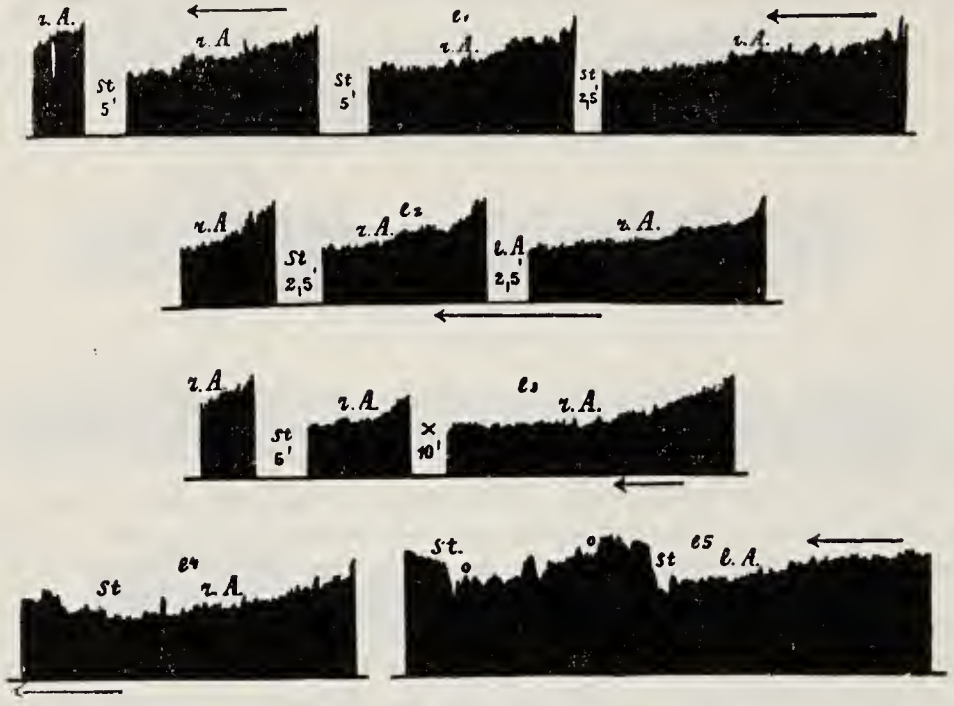


Fig. 9.

Bewährt sich nämlich das in den beschriebenen Fällen beobachtete Anwachsen des Arbeitsvermögens auch bei der Arbeit mit so grossen Lasten, welche absichtlich-maximale Anstrengungen erfordern und die Ermüdung bis zur völligen Erschöpfung führen, so ist die Thatsache bewiesen.

Diese Versuche wurden an dem rechten Arme eines sehr kräftigen jungen Mannes angestellt und ergaben die unten stehenden Myogramme M. und S. (Fig. 10).

In *M.* trat die Erschöpfung des rechten Arms, d. h. die Unmöglichkeit die Hebungen fortzusetzen, nach 83 Hebungen ein; darauf folgten der Reihe nach: Ruhepause von ein Paar Minuten; wiederum Arbeit (des rechten Arms) bis zur Erschöpfung; erholende Arbeit des linken Arms, welche ebenso lange wie die Ruhepause dauerte; endlich Arbeit des ausgeruhten rechten Arms.

In S wurde die elektrische Reizung (der linken Hand) in dem Augenblick der angekündigten Erschöpfung begonnen, und sofort stiegen die Bewegungen an (unterhalb des ersten Zeichens *st*); hierauf wurde die Arbeit des rechten Arms für ein paar Minuten unterbrochen, die Reizung aber fortgesetzt (das Zeichen *st* in dem leeren Zwischenraum); jetzt erlangten nach dieser Ruhe die Hebungen diejenige maximale Höhe, welche sie beim Beginn des Versuches hatten.

Dem jungen Manne waren allerdings die Resultate meiner Versuche bekannt; bedenkt man jedoch, dass er bei diesen Versuchen, stets die äussersten Anstrengungen zu machen genöthigt war, so kann hier von Autosuggestion keine Rede sein.

Ich könnte natürlich die Versuche mit elektrischer Reizung auf das mannigfachste variiren (in Bezug auf die Art, Stärke und Dauer der Reizung, so wie in Bezug auf die Grösse der Belastung, die Art der Arbeit u. s. w.), begnüge mich jedoch einstweilen bei dem allgemeinen Umriss der Erscheinungen stehen zu bleiben, da dieser schon gestattet dieselben unter einen allgemeinen Gesichtspunkt zu bringen, namentlich:

Fig. 10.

a) die Nachwirkung der sensitiven Erregungen, wenn dieselben das Nervensystem zur Zeit der Ruhe des ermüdeten Arbeitsorgans treffen;

b) die Einwirkung derselben (elektrischen) Erregungen zu einer Zeit, wenn das ermüdete arbeitende Organ thätig ist; und

c) das hierbei stattfindende Verschwinden des Gefühles der Ermüdung;—

ad a) Geht man von den Versuchen aus, in welchen die erregenden Einflüsse zur Zeit der Ruhe des ermüdeten Arbeitsorganes wirken, ohne sich auf irgend welche Weise zu äussern, solange das Organ unthätig bleibt, so kommt man (in Bezug auf den ersten Punkt) unwillkürlich zu der Ansicht, dass die Wirkung in einer Ladung der Nervencentra mit Energie besteht; und diese Auffassungsweise der Thatsachen scheint vollkommen am Platze zu sein, weil dieselbe wegen ihrer Allgemeinheit nichts Bestimmtes in Bezug auf den stattfinden Process voraussetzt (von dem wir in der That nichts Bestimmtes wissen, namentlich ob die von aussen kommenden Erregungen etwa die auf die Bewegungscentra wirkenden Impulse verstärken, oder die Erregbarkeit dieser Centra erhöhen), und sofern wir berechtigt sind das in Rede stehende Arbeitsorgan als eine Maschine zu betrachten.

ad b) Dieselbe Auffassungsweise kann aber auch auf jene Fälle (Punkt b) ausgedehnt werden, in welchen die künstliche (elektrische) Erregung des Nervensystems zu einer Zeit wirkt, wenn das arbeitende Organ thätig ist; weil ihre Wirkung jetzt in einer Steigerung der Energieausgaben des ermüdeten Organs besteht, was ohne Zufluss von Energie von aussen unmöglich wäre.

ad c) Beim Menschen sind aus alltäglicher Erfahrung zwei Zustände des Nervensystems bekannt, welche mit den Namen «*gehobene*» und «*gedrückte Stimmung*» belegt werden und welche sich unter anderem durch Lebhaftigkeit und Trägheit der Bewegungen kundgeben. Es ist offenbar erlaubt diese Zustände, mit den sie begleitenden Gefühlen, als Zeichen erhöhten oder herabgesetzten Energievorrats im centralen Nervensystem aufzufassen—ers-

teres, weil die gehobene Stimmung ihren Grund sehr oft in den äusseren Eindrücken auf das Nervensystem hat, letzteres, weil das die gedrückte Stimmung begleitende Gefühl der Mattigkeit viel Gemeinsames mit demjenigen hat, welches die ermüdenden Arbeiten begleitet. Nimmt man nun die letzte Analogie als eine plausible an, so wird einerseits das Gefühl der Ermüdung als Zeichen des herabgesetzten Energievorrates, andererseits auch das Verschwinden desselben infolge des durch sensitive Eindrücke erhöhten Arbeitsvermögens, resp. des erhöhten Energievorrathes im centralen Nervensystem, verständlich. Man denke, zur grösseren Ueberzeugung von der Wahrscheinlichkeit des soeben Gesagten, an die Wirkung der Musik auf die durch Marschiren ermüdeten Soldaten, oder an die erheiternde und belebende Wirkung des Gesanges bei der Arbeit.

Somit war es allerdings möglich die Hauptergebnisse der Untersuchung von einem und demselben Gesichtspunkte aus zu erklären namentlich mit Hülfe des Begriffes «Ladung der Nervencentra mit Energie».

Zu Gunsten dieser Erklärungsweise mag schliesslich noch folgendes angeführt werden.

7. Es waren von mir schon längst am Frosche folgende Thatsachen experimentell bewiesen worden.

α) die Fähigkeit der Nervencentra sensible im einzelnen unwirksame Stösse (dem n. ischiadicus applicirte Inductionschläge) zu einem motorisch-wirksamen Impuls zu summiren, wenn die Stösse mit genügender Frequenz aufeinander folgen[1];

β) starke motorische Nachwirkungen eines starken Tetanisirens des sensiblen Nerven; diese bestehen in Folgendem: solange das starke Tetanisiren dauert, sind die Bewegungen gehemmt, sobald aber die Reizung unterbrochen wird, treten dieselben in verstärktem Grade hervor[2]; und

γ) eine entsprechende Reihe von Erscheinungen an dem verlängerten Marke des Frosches; hier werden namentlich durch die starke Reizung des Nerven die galvanischen Zeichen der in dem v. M. spontan von Zeit zu Zeit entstehenden motorischen Impulse unterdrückt, worauf dieselben nach dem Aufhören der Reizung in verstärktem Maasse auftreten[3].

Durch die erste von diesen Thatsachen wird die Ladungsfähigkeit des Nervensystems mit Energie direct bewiesen, man mag die Erscheinung erklären, wie man will, weil dabei doch nur die Thatsache wesentlich bleibt, dass die Nervencentra die Rolle von Accumulatoren in Bezug auf die dieselben treffenden Stösse spielen.

Die zwei letzten Thatsachen reden in demselben Sinne, weil sie nur Folgendes bedeuten können: wenn die die Nervencentra treffenden Erregungen mit den daraus entstehenden Impulsen ihren natürlichen Ausweg (die Bewegungen in unseren Fällen) nicht finden können, so müssen dieselben sich in den Nervencentra ansammeln und in verstärktem Maasse hervortreten, sobald die Hemmung aufgehoben ist.

---

[1] Ueb. d. elektr. u. chem. Reiz. d. sens. Nerv. u. s. w., Graz., 1868.

[2] Ebendaselbst.

[3] Galv. Ersch. an d. v.M.d. Frosch. Pfl. Arch. XXVII.

Nun sind die sub α und β angeführten Thatsachen offenbar mit denjenigen verwandt, die ich oben zu erklären hatte.

8. Jetzt bleibt mir nur noch übrig einem möglichen Einwande entgegenzukommen.

Den Ursprung des Gefühls der Ermüdung verlegt man gewöhnlich in die arbeitenden Muskeln; ich dagegen verlege denselben, in der oben gegebenen Erklärung des Verschwindens dieses Gefühls, ausschliesslich in das centrale Nervensystem. Zur Aufklärung dieses Widerspruches mag folgender Versuch dienen.

Ich liess meinen Arm bis zum Entstehen eines klar ausgesprochenen Gefühles der Ermüdung automatisch (d. h. ohne an die Excursionen des Arms zu denken) arbeiten und fing darnach an, jede einzelne Excursion zu beachten, dieselbe jedesmal absichtlich so weit als möglich führend. Das Gefühl der Ermüdung verschwand hierbei augenblicklich und liess sich auch wärend der Arbeit nicht mehr wahrnehmen, obgleich ich auf diese Weise 1 Stunde lang unaufhörlich arbeitete (1200 Hebungen). Dieses klingt allerdings paradox, lässt sich jedoch sehr leicht erklären. Beim unaufhörlichen Arbeiten in gleichem Rythmus hängt das mehr oder weniger rasche Entstehen des Gefühles der Ermüdung von dem Verhältnisse zwischen der Stärke der Muskelzüge und der Grösse der zu überwindenden Widerstände ab.—Sind nun letztere relativ zu den Muskelzügen gross, so nehmen diese an Grösse rasch ab und im entgegengesetzten Falle bleibt die Abnahme der Muskelzüge lange Zeit unmerklich. In unserem Versuche gilt das erstere für die erste Hälfte des Myogramms (Fig. 11) und das zweite für die zweite Hälfte. Es ist ferner einleuchtend, dass sofern in beiden Hälften des Versuches eine und dieselbe Muskelgruppe arbeitete, das Gefühl der Ermüdung, falls seine Quelle in den Muskeln läge, eher im Laufe der zweiten als in dem der ersten Versuchshälfte sich entwickeln müsste, weil die Arbeit in der zweiten Hälfte viel länger dauerte und viel intensiver war. Wir sehen aber gerade das Gegentheil; folglich lag sowohl in diesem Versuche, als in allen anderen ihm gleichen (d. h. in Versuchen mit automatischen Bewegungen) die Quelle des Ermüdungsgefühles nicht in den Muskeln sondern in den Vorgängen innerhalb der Nervencentra. Damit will ich jedoch nicht sagen, dass die Muskeln an dem Entstehen des Gefühls sich überhaupt nicht betheiligen. Bei schweren Arbeiten ist ihre Betheiligung ganz unzweifelhaft; das Gesagte gilt nür für die in dieser Untersuchung beschriebenen schwachen Arbeiten. Den soeben beschriebenen Versuch benutzte ich noch zur Probe, ob das für die auto-

Fig. 11.

matischen Bewegungen constatierte Anwachsen des Arbeitsvermögens des thätig gewesenen Arms durch das zeitweilige Uebertragen der Arbeit auf den anderen Arm auch für die jetzigen Bedingungen gilt. Die zwei letzten Reihen erhöhter Ordinaten mit den üblichen Zeichen *l. A* und *r. A* gaben eine bejahende Antwort hierauf. Uebrigens habe ich den Versuch in dieser Form nur ein einziges Mal angestellt.

Zum Schlusse erlaube ich mir noch folgende Bemerkung.—Die elektrische Reizung der Nerven und der Muskeln hat sich für die betreffenden Lehren deshalb so fruchtbar erwiesen, weil man diese Reizung auf beliebiger Hohe constant halten, respective unter beliebigen constanten Bedingungen arbeiten kann. Sollte also einmal die Zeit für das myographische Studium der motorischen Folgen natürlicher Erregungen am Menschen kommen, so könnte man, glaube ich, die entsprechenden Dienste eher von den automatischen als von den wilkührlichen Bewegungen erwarten, weil die letzteren nur bei absichtlich maximalen Impulsen constant zu halten sind, und in dieser Form sich gen die äusseren Angriffe weniger empfindlich als die schwächeren automatischen Bewegungen erweisen.

III

The Editor gratefully acknowledges the assistance which he has received in his translation of I. M. Sechhenov's psychophysiological works from D. A. Asha, D. Dvofski, V. M. Karzinkin and Al. Wicksteed.

REFLEXES OF THE BRAIN

§ 1. All of my readers must at some time have participated in disputes concerning the nature of the spirit and its dependence on the body. The disputants, if they are naturalists, are maybe a young man and an old man, or maybe one who is more occupied with the problems of matter, the other more with the problems of the spirit. It is only when the dissentients are dilettantes on most points that the argument becomes really warm. In that case, usually, one of them generalizes about things not susceptible of generalization (for this is the chief characteristic of the dilettante), and the audience is treated to a spectacle reminiscent of summer fireworks on the Petersburg Islands. Loud phrases, broad views, lucent ideas crackle and spill over, like rockets. During the dispute, one of the listeners, a young and docile enthusiast, feels a cold chill more than once run down his spine; another listener will hold his breath; a third is sweating. But finally the spectacle ends. Terrible pillars of fire leap to the heavens, break and disappear, leaving in the mind only a turbid remembrance of lurid apparitions. Such is the general fate of all private disputes between dilettantes. They trouble the imagination of their listeners for a while, but convince no one. It is a different matter if this taste for dialectical gymnastics spreads in society. Here, the disputant with a little authority becomes an idol. His opinions become dogmas and in a twinkling penetrate into literature. Anyone who has followed the intellectual movement in Russia for the last decade, has witnessed examples of this, and must have noticed the fickleness of our society in such matters.

There are poeple who are strongly displeased with this last predisposition of our society. They see, generally, in these vacillations of public opinion, a chaotic fermentation of unverified thought; they are frightened by the uncertainty of what this fermentation may lead to. In their opinion, society is distracted from serious business and goes off in pursuit of apparitions. They are right in their way. Without question, it would be much better, if society,—modest, quiet, and well-behaved,—always followed the straight path to useful and attainable aims. Unfortunately, however, nearly every aim,—in science as well as in life,—is attained by circuitous path and the straight road to any goal becomes clear only when that goal is attained. These gentlemen forget, moreover, that there have been cases when the uncontrolled fermentation of minds has lead in time to the apprehension of a truth. Let them remember what the mediaeval thought lying at the back

of alchemy led mankind to. It is horrible to think what would have happened to mankind, if the austere mediaeval guardians of public opinion had succeeded in burning and drowning, as sorcerers and nocuous members of society, all the passionate investigators of impossible ideas, who unconsciously took part in creating chemistry and medicine. Those who value truth in general,—i. e. not only present, but also future truth,—will not presume to condemn any idea arising in human society, no matter how strange it may seem to him.

It is because I have these unselfish seekers of future truth in mind, that I have decided to communicate to the world some ideas concerning the psychical activity of the brain,—ideas which have never been expounded in the literature of physiology.

The matter stands thus. The psychical activity of man, as is wellknown, expresses itself in external manifestations, and, generally, everyone,—both scientists and laymen, naturalists and people interested in questions of the spirit,—judge of psychical activity from its external expression. But the laws of the external manifestations of psychical activity have been studied very little, —even by the physiologists, on whom, as we shall see later, the obligation to do so rests. It is these laws that I wish to speak of.

Let us enter the world of phenomena which arises in the activity of the brain. People generally say that this world embraces all psychical life, and nearly everyone now accepts this idea with greater or lesser reservations. The differences in the conceptions of the various schools consists only in that some view the brain as the organ of the spirit, separating the spirit from the brain; others asseverate that spirit is the product of the activity of the brain. We are not philosophers and shall not enter into a discussion of these differences. As physiologists, we are satisfied with the fact that the brain is an organ of the spirit, i. e. a mechanism which, when brought into activity by any kind of cause, produces as a final result that series of external phenomena which we characterize as psychical activity. Every one knows how immense this psychical world is. It includes all the endless diversity of movements and sounds of which man is capable. But is it necessary to grasp all this mass of facts and not to lose sight of any of them? Yes, undoubtedly, for without this, the study of the external manifestations of psychical activity would be a pure waste of time. The task, at the first glance, appears to be impossible; but in reality it is not so, and for the following reason.

All the endless diversity of the external manifestations of the activity of the brain can be finally regarded as one phenomenon,—that of muscular movement. Be it a child laughing at the sight of toys, or Garibaldi smiling when he is persecuted for his excessive love for his fatherland; a girl trembling at the first thought of love, or Newton enunciating universal laws and writing them on paper,—everywhere the final manifestation is muscular movement. In order to help the reader to reconcile himself with this thought more readily, I will remind him of the frame-work created by the mind of humanity to include all manifestations of brain activity; this frame-work is «*word and deed*». Under *deed*, the popular mind conceives, without question, every external mechanical activity of man based exclusively on the use of

muscles. And under *word*, as the educated reader will realise, is understood a certain combination of sounds produced in the larynx and the cavity of the mouth, again by means of muscular movements.

Therefore, *all the external manifestations of brain activity can be attributed to muscular movement* [1]. In this way, the question is greatly simplified. Billions of diverse phenomena, having seemingly no relationship to each other, can be reduced to the activity of several dozen muscles (it must not be forgotten that most muscles form pairs, both in structure and in action; hence, by knowing the action of one muscle, we know that of its pair). Moreover, it becomes clear to the reader, once and for all, that absolutely all such qualities of the external manifestations of brain activity which we characterize as animation, passion, mockery, grief, joy, etc. — are nothing more than the results of a greater or lesser contraction of some group of muscles—a purely mechanical act, as everyone knows. Even the most confirmed spiritualist must concede this. Indeed, how could it be otherwise, when we know that from a soulless instrument the hand of the musician tears out sounds full of passion and life, and that the hand of the sculptor brings life into stone. Both the hand of the musician and that of the sculptor, creating life, is capable only of mechanical movement which, strictly speaking, can even be subjected to mathematical analysis and expressed by a formula. Under these conditions, how can they express passion in sound or form, if this expression is not a purely mechanical act? If the reader considers this, he will agree that the time must come when people will be able to analyze the external manifestations of the activity of the brain just as easily as the physicist now analyzes a musical chord or the phenomena presented by a falling body?

But this happy time is still far distant, and instead of empty speculation, let us turn to our essential question and see in what manner the external manifestations of the activity of the brain are developed, and to what extent they serve as an expression of psychical activity.

Assuming that the reader agrees with me that this activity always expresses itself on the surface in the form of muscular movement, my task will consist in determining the way in which muscular movements in general issue from the brain [2].

Let us pass directly to our subject matter. Modern science divides all muscular movements—according to their origin—into two groups: *voluntary and involuntary.* Consequently, our task is to study the origin of both groups of muscular movements. Let us begin with the second group as the simplest; and to attain more clarity we will begin, not with the cerebral hemispheres, but with the spinal cord.

---

[1] The only phenomena relating to this point which up to now have not been explained by muscular movement are the changes of the eye characterized by the words-glitter, languor etc.

[2] Respiratory movements and the contractions of the heart have no direct connection with our subject and therefore we need not deal with them here.

CHAPTER 1,

INVOLUNTARY MOVEMENTS

Three types of involuntary movements—1. Reflexes (in a narrow sense) of decapitated animals, the movements of man when he is asleep and under circumstances when his brain, speaking colloquially, is not working.—2. Involuntary movements in which the end of the action is more or less weakened in comparison with the beginning (inhibited involuntary movements).—3. Involuntary movements with an intensified end—fright, elementary sensuous enjoyment. Cases where the participation of the psychical element in a reflex does not change the nature of the latter. Somnambulism, inebriation, delirium, etc.

§ 2. Pure reflexes, or reflected movements, can be best observed on decapitated animals; especially on the frog, for in this animal, the spinal cord, nerves, and muscles live quite a long time after decapitation. Cut off the head of a frog and throw the animal on the table. During the first few seconds, it seems to be paralyzed. However, in a few minutes you will see that the animal has straightened itself out and sits on the table in the usual posture of a frog, when at rest on dry land; that is, with its hind legs pulled up under it, supporting itself on its front legs, like a dog. Leave the frog in peace, or, more accurately, do not touch its skin, and it will sit without movement for a long time. Touch its skin, and the frog will move and then again sit quietly. Pinch it more strongly, and it will make a jump, as if it were trying to escape from pain [1]. When the pain has passed, the animal remains motionless for hours.

The mechanism of these phenomena is very simple. Sensitive nerve fibres stretch from the skin to the spinal cord, and motor nerve fibres lead from the spinal cord to the muscles. In the spinal cord itself, the two types of nerves are connected with each other by means of the so-called nerve-cells. The intactness of all the parts of this mechanism is indispensably necessary for the production of the phenomena described above. If you cut the nerves, whether sensory or motor, or destroy the spinal cord, the stimulation of the skin will not lead to movement. This type of movement is called reflex because the excitation of the sensory nerves is reflected in movement. It is further obvious that these movements are involuntary: they appear only in response to the stimulation of sensory nerves. Once this condition is fulfilled, i. e. the stimulation has taken place, the appearance of movement is as inevitable as the fall of an unsupported object, or the explosion of powder by fire, or the action of any machine once it is started. Consequently, these movements are machine-like in their origin.

Here are a series of facts constituting the reflex, or the reflected movement: the excitation of the sensory nerves, the excitation of the spinal centre connecting the sensory nerves with the motor nerves, and the excitation of the latter, expressed by the contraction of the muscles, i. e. muscular movement.

---

[1] The decapitated animal cannot actually feel pain as a conscious sensation in those parts of the body which are separated from the head. This can be seen on people whose spinal cord has been more or less injured in the upper half. In this case, the skin in all the lower part of the body becomes entirely insensitive.

But the reader must not imagine that reflex movements are the property of decapitated animals only; on the contrary, they may take place even when the brain is intact, and, moreover, in the sphere of cranial nerves as well as in that of spinal nerves. In order to include a movement in the category of reflex movements, it is merely necessary that this movement should clearly arise from the stimulation of the sensory nerves and that it should be involuntary. Such, at any rate, is the demand of the modern school of physiologists

In this sense, for example, we must call reflex such movements as the involuntary start of a person at an unexpected sound, at the sudden touch of a unfamiliar object, or at the sight of an object placed suddenly before the eyes. And naturally, every one will understand that when the brain remains intact, the sphere of possible reflected movements is incomparably greater than in a decapitated animal; this is so because the decapitated animal is deprived of all the sensory nerves, the excitation of which gives birth to reflected movement, except the cutaneous nerves, whereas the undecapitated animal possesses, in addition, the nerves of sight, hearing, smell and taste. The reader cannot but understand that these involuntary, machine-like movements (so-called reflex movements) exist not only in decapitated animals, but also in the normal man. Consequently the brain, i. e. the organ of the soul, may under certain conditions (in the concepts of this school) produce movements with the same inevitability as any machine, e. g. as the hands of a clock move inevitably, because the weights turn the wheels of the clock.

The idea of the machine-like character of the brain, no matter what the circumstances, is a treasure for every naturalist. In his life, he has seen many diverse and intricate machines, beginning from the plain screw and ending with those complex constructions which more and more replace man in the processes of physical labour; he has thought so much of these mechanisms that if you place a new machine before such a naturalist, hiding from him the internal mechanism, and letting him see only the beginning and the end of its activity, he will form a fairly correct understanding of the structure of the machine and of its action. We, however, even if we belong to the number of these naturalists, must not rely too much on our powers when dealing with such a machine as the brain, for it is the most intricate machine in the world. We must be modest and cautious in our conclusions.

We have come to the conclusion that the spinal cord, in the absence of the brain, *always (i. e. inevitably)* calls forth movements if the sensory nerves are stimulated; we regard this fact as the first manifestation of the machine-like character of the spinal cord in the production of movements. We have further seen that the brain, under certain conditions *(but not always)* may act as a machine, and in that case its activity is expressed by means of so-called involuntary movements. In view of such results, it is only natural to endeavour to determine the conditions under which the brain acts as a machine; for, as was noted above, even the most intricate machine can be subjected to investigation. Therefore, if we carefully investigate the conditions under which the brain acts as a machine, we shall arrive at an understanding of the brain. Let us begin.

§ 3. Everyone knows that involuntary movements arise in those cases when the sensory nerves are unexpectedly, suddenly, stimulated. This is the first condition. Let us find out the other conditions; for the sake of clarity we shall do so by analysing the following example. You are speaking to a nervous lady. You inform her that you are immediately going to knock on the table, and you knock. In this case, the noise reaches the auditory nerves of the lady, neither unexpectedly, nor suddenly; nevertheless, she starts. You may conclude from this fact that the unexpectedness of the irritation of the sensory nerves is not an absolutely necessary condition of the involuntary movement, or that the lady is an abnormal pathological person in whom the phenomena are reversed. Refrain for a time from drawing any conclusions, and continue your experiment. With the permission of the lady, you continue to knock with the same force, this time several taps a minute. The moment will come when the knocks no longer act on the nerves; the lady does not start any more. This is generally attributed to the adaptation of the organs of senses to the stimuli, or to fatigue, i. e. to the diminution of their excitability. We shall analyse this explanation later; for the present let us continue our experiment. When the lady has become accustomed to a knock of a definite strength, increase its strength, warning her of your intention. The lady starts again. After repeated blows of the same strength, the reflex movement again disappears. If the knocks are again increased in strength, it appears again and so on. It is clear that for every person in the world there exists a noise, which is, powerful enough to cause him to start even when he has been forewarned. The necessary condition is that the strength of the impact on the auditory nerves should exceed those which the given person has ever been subjected to. A hero of Sebastopol who calmly hears the cannonade of a thousand guns (as the result of gradual adaptation), would unquestionably start at the discharge of a million. I shall not continue this example into the sphere of other organs of senses, because by now the reader himself can easily imagine the effects of the gradually increasing stimulation of sight, smell and taste. In every case he will come to the same conclusion: *the stimulation of a sensory nerve which is stronger than this nerve has hitherto withstood, will inevitably, and under all conditions, call forth a reflex, i. e. an involuntary movement.* This is the second and last category of cases where the brain acts as a machine in the production of movements. All the other muscular movements which take place under the influence of the brain have been named voluntary or willed by physiologists. We shall concern ourselves with them later. For the present, let us turn once more to the conditions under which involuntary movements take place and try to express them in the language of physiology.

Upon examining these conditions a little more attentively, it is not difficult to notice a resemblance between them: in the first case, the reflex movement is brought about by an absolutely unexpected stimulation of the sensory nerves; in the second case, the suddenness of the stimulation is merely relative. In the first case, the intensity of the stimulus was reached suddenly, beginning, so to speak, from nothing; whereas in the second case it merely exceeded that which had already been experienced by the sensory nerves and which was expected. Notwithstanding, however, the

ostensible similarity of these conditions, there exists a considerable difference between them. The following example will show this. A person stands in the middle of the room entirely unaware of what is taking place behind him. This person is pushed lightly in the back and is flung several paces from the place where he stood. It is a different matter if the person knows that he will be pushed. He will so adjust his muscles that even a much harder push will not move him from his place. But it is clear that even then he will not be able to remain in his place if the push is considerably stronger than he expected. This example shows clearly what a great difference there is in the condition of a person when an external influence acts upon him entirely unexpectedly, and when he is prepared for this influence. In the latter case, the person exhibits an active and intentional counter-action to this external influence; in our example, this is shown, as noted above, by the contraction of a particular group of muscles, producing a *voluntary* movement. Nevertheless, I will now attempt to show that this active counter-action on the part of the person always appears if he is expecting to be subjected to some external influence.

It is not difficult to convince ourselves that this occurs extremely often. Glance at the nervous lady who is not in a position to resist even the lightest sound, although she has been forewarned. In the expression of her face, in her pose, there is something which we usually call determination. This is, of course, the external manifestation of the muscular act by means of which she is trying, though vainly, to overcome involuntary movements. It is quite easy to observe this manifestation of the will (even though it is not definite enough to be easily described in words), because we have seen similar examples in our life a thousand times. You will often see,—in pictures for example,—the figure of a man whose face and pose show clearly that he is trying to resist some external influence which is threatening him. His face and pose permit you even to judge of the degree of the counter-action and of the degree of the danger. Hence, counter-action takes place quite often, if an external influence is expected. But how would you explain the following cases. A person is prepared for the external influence, and consequently this influence does not call forth any involuntary movements on his part; moreover, upon encountering the hostile influence, this person remains absolutely unperturbed, i. e. his external appearance does not express any trace of the counter-action which we spoke of above. You, for example, are not a nervous person and know that an attempt is being made to frighten you with a blow which would make only nervous ladies start. Naturally, you will remain quiet both before and after the blow. Your friend, for example, is accustomed to use very cold water; it will not be difficult for him to refrain from involuntary movements if he takes a cold shower of, say, 8° C. A third person is accustomed to the smell of the anatomical laboratory. He will, of course, enter a hospital ward without any strain on his face. The question is whether the counter-action of which we spoke above exists in all these cases? Of course, it does, as the reader will soon convince himself with the help of the most ordinary judgement. For clarity, let us take the previous example of the nervous lady who is startled by knocks. We have seen that if the knock is repeated often with unaltered strength, she will fi-

nally cease to start upon hearingit. Observe her pose and the expression of her face during the course of the experiments. At first, determination is sharply expressed in them, although she does not succeed in overcoming her fear of the knock; then the same pose of determination becomes sufficient to resist even the stronger knocks, and finally the time comes when no pose or look of determination is needed to endure the noise. At first sight, the matter is best explained by the fatigue of the auditory nerves; this is partly true, but does not fully explain the matter. Indeed, if we test the hearing of our lady at the time when strong noises have ceased to influence her, we shall find that her hearing is hardly dulled even to the weakest sounds. Consequently, there must be some other explanation of this phenomenon. This is generally called habit. In the given case, the habit is expressed by the fact that the lady in the course of the experiments learns to counteract her involuntary response to the knock. Let us now pass to another example which will show that this interpretation of habit is not arbitrary. Whoever has seen a pupil beginning to study the piano knows what an exertion it is to play the scales. The poor pupil moves not only the fingers, but also the head and mouth, and the entire body. But look at the same person when he has developed into an artist. The fingers move quickly over the keys without any exertion; the movements are so rapid that one would say they do not depend on will. Here again, the whole matter rests on habit. Habit hides from the eyes of the observer the exertions by means of which the musician's will leads to the movements of each separate finger, just as in the case of the nervous lady habit has made invisible the exertions of this lady to resist the knock. To cut the matter short, I ask the reader: is there in the world anything so disgusting, or so horrible, that man cannot become accustomed to? Everyone will answer there is no such thing, though every one knows that the process of growing accustomed to many things is long and strenuous. To become accustomed to the horrible, to the disgusting, does not mean enduring it without effort (there would be no sense in that); but it means applying this effort skillfully.

Hence, if a person is prepared to undergo any kind of external influence, this means that the influence will be counteracted, no matter whether it finally leads to an involuntary movement or not; and this counter-action may either express itself externally in the form of muscular movements, or remain without any apparent external manifestation.

We are now in a position to establish definitely the difference between the two types of conditions which are necessary for the manifestation of involuntary movements when the brain is intact. If the impressions come unexpectedly, the only nervous centre participating in the reflex is the nervous centre connecting the sensory and the motor nerves. When the stimulation is expected, the activity of another mechanism interferes in the phenomenon, restricting and retarding the reflex movement. Under some circumstances, this activity is stronger than the stimulation, and then the reflex (involuntary) movement does not take place. Sometimes it is the opposite: the stimulation is stronger than the obstacle, and the involuntary movement appears.

It is difficult to find a more simple and convenient explanation than

the one given here; but this explanation requires a physiological foundation, because it presupposes the existence in the brain of new mechanisms, whose action, if they really exist, can probably be observed also in animals. So we shall now occupy ourselves with the question whether there is a physiological basis for accepting the existence in the human brain of mechanisms that inhibit reflex movements.

§ 4. About twenty years ago, when physiologists still thought that the excitation of every nerve which leads to a muscle, causes this muscle to contract, Edward Weber demonstrated by direct experiments that the excitation of the vagus nerve which innervates (among other organs) the heart, not only does not augment the activity of the latter organ; but even paralyzes it. Weber's contemporaries wondered and wondered, and it was finally decided (at least by the greater part of modern physiologists) that this abnormal action is due to the fact that the nerves end, not directly in the muscular tissue of the heart, as in the muscles of the body, but in the nervous ganglia, which lie in the tissue of the walls of the heart. Ten years after the discovery of Weber, Pflüger obtained a similar action of the splanchnic nerves on the intestine. Later, Claude Bernard suggested that the chorda tympani, the stimulation of which augments the secretion of saliva, is not only the stimulator, but also the inhibitor (generally speaking, the regulator) of salivation. Finally, Rosenthal demonstrated that the respiratory movements (essentially involuntary) are stopped or retarded by the excitation of the fibres of the superior laryngeal nerve. These facts have gradually strengthened the belief of physiologists that there exist in the animal body nervous influences by which involuntary movements are depressed. On the other hand, our daily life presents a multitude of examples where the will acts, apparently, in the same manner: we can voluntarily stop our respiratory movements in any phase, even after exhalation, when all respiratory muscles are in a state of relaxation. Our will can suppress screams and all other movements arising as the result of pain, fright, etc. It is remarkable that though we speak in such cases of the great moral courage of the person, the efforts of will in the suppression of involuntary movements are hardly noticeable, and sometimes do not even manifest themselves externally in the form of additional movements; nevertheless, the capacity of a person to remain under these conditions entirely quiet and motionless is believed to be the proof of an exceptionally strong will.

Knowing all these facts, contemporary physiologists could not but accept the existence of mechanisms which retard reflex movements in the human body (or, more accurately, in the brain, for our will acts only through this organ).

This hypothesis became an almost unquestionable truth when it was demonstrated (in the end of 1862) by direct experiments, that there exist mechanisms in the brain of the frog which are capable of supressing the reflexes from the skin.

There can be no doubt, therefore, that every counter-action to the excitation of sensory nerves is brought about by mechanisms that inhibit reflex movements.

The question of the origin of involuntary movements in the presence of

the brain is thereby settled. In both cases (absolutely and relatively unexpected excitation of the sensory nerves), the mechanism of the origin of involuntary reflex movements must be essentially the same, and does not differ from that which exists in the spinal cord.

It is easy to convince oneself of this by comparing the structure of the apparatus producing involuntary movements in decapitated and in normal animals,—an apparatus which has lately been studied in great detail in the frog. This mechanism, for every point of the skin of the decapitated animal, consists of the cutaneous nerve *a* (fig. 1) beginning in the spinal brain and ending in the cell *b*; This cell is connected with another cell *c*, located in the front part of the spinal cord; the two cells *b* and *c* constitute together the so-called reflex centre; the motor fibre *d* arises in *c* and ends in the muscle. The reflex, as the product of the activity of this mechanism, is nothing else than the successive excitation of *a*, *b*, *c*, *d*, always beginning with the excitation of *a* in the skin. As for the reflexes of the brain, they are produced by the activity of a mechanism which consist of the following parts: the cutaneous fibre *o* which leads to the centres of locomotion *N* (it was shown by Berezin that the cutaneous fibres end in the brain and in the spinal cord), the path *Nc* for the voluntary motor impulses from the brain, and finally, the elements *c* and *d*, entering into the composition of the spinal mechanism. The function of all this apparatus is also brought about by the excitation of *O*, that is, of the cutaneous nerve. The origin of both reflexes is obviously identical, as long as the excitation follows the path described; it remains identical even when the activity of the inhibitory apparatus *P* interferes with the phenomenon, because this apparatus is capable of inhibiting both *N* and *bc*, and is situated for both *N* and *bc* in the brain in front of *N*. Those who consider the counter-action to external influence as voluntary, should, naturally, suppose that the will acts directly on *P*; however we shall later become acquainted with facts which indicate that the retarding mechanisms can also be excited by stimulating the sensory nerves of the skin.

§ 5. Let us continue our study of the brain as a machine, and see what relationship exists between the intensity of the stimulation and that of the reflex movement—i. e. between the stimulus and its effect. We shall again begin, as before, with the phenomena presented by the spinal cord, because these phenomena have been studied best of all. Here we can say, on the whole, that with the gradual increase of the intensity of stimulation, the force of the movement also grows gradually and in proportion with the stimulus, spreading to a greater and greater number of muscles. For example, a weak stimulation of the skin of one of the hind legs in the decapitated frog leads to the contraction of the muscles of this leg only; with the gradual increase of the stimulus, the reflex movements spread to the front leg of the same side, and finally to the front and hind legs of the opposite side.

The same can be noticed in the cranial nerves under the condition that the brain is, so to say, inactive.

Thus, for example, a slight irritation (e. g. by means of a feather) of the skin of the face, which is innervated by the trigeminal nerve, leads in the sleeping man to the contraction of the facial muscles. If the irritation

is stronger, the reflex may include the movement of the hand, and if the irritation is very strong, the man will wake up and jump from bed, i. e. the response will include movements of nearly all the muscles of the body. Consequently, here also, the augmentation of the stimulus leads to the increase and to the spreading of the reflex.

It is a different matter when the brain is active. In this case, the relationship between stimulus and effect is incomparably more complex. This problem, so far as I know, has never been scientifically analyzed. For this reason, I think it necessary to deal with it in detail. Let us analyse the cases, in animals and man, when the brain is intact, and the sensory nerves are suddenly stimulated. Hang up a frog by the lower jaw vertically in the air, wait till it has ceased to thrash about and is hanging perfectly quiet, and then touch its hind leg lightly with your finger. Very often, the frog will exhibit what is colloquially called «fright», and will begin to thrash about again, i. e. to work with all the muscles in its body. There is a popular belief that the bear responds to sudden fright (i. e. to the unexpected stimulation of the sensory nerves) by running away as fast as possible, sometimes even shedding bloody faeces. There is no doubt that a very insignificant excitation of the sensory nerves may produce in animals exceptionally strong involuntary movements. In man, this phenomenon may be expressed even more sharply; as an example, let us mention the convulsions (i. e. the reflex movements) of the whole body which are called forth by a sudden knock, or by the contact of an unfamiliar body, in hysterical women.

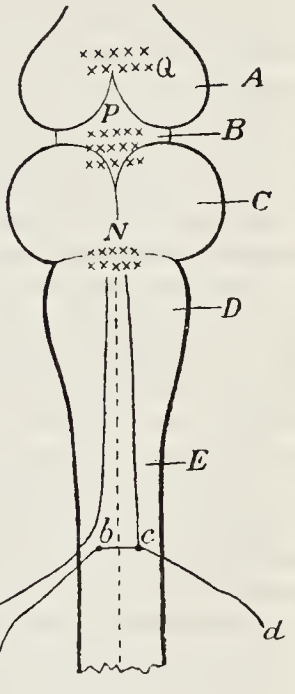


Fig. 1.

Apart from such extreme cases, everyone knows that sudden fright, no matter how insignificant its cause (i. e. no matter how weak the stimulation of the sensory nerves which has lead to it) always calls forth strong and widespread reflex movements in man. In addition, as everyone knows, fright can be brought about by the stimulation of the spinal, as well as the cerebral, sensory nerves: it is just as easy to become frightened by the sudden contact of our body with an unfamiliar object (involving the spinal sensory nerves), as by the appearance of a strange shape before our eyes (involving the excitation of the optical nerve, which has its origin in the brain).

However this may be, it is a known fact that fright disturbs the relationship between the intensity of the stimulus and its effect, (i. e. movement) in favour of the latter. But is it possible, in this case, to assume that the development of involuntary movement during fright is machine-like? The phenomenon includes a psychical element, viz. the feeling of fright; and the reader has undoubtedly heard tales of the wonders which are sometimes accomplished under the influence of fear: people with shortness of breath run

for miles without stopping, weak individuals carry tremendous weights, etc. The exceptional energy of muscular movements in such cases is usually ascribed to the moral influence of fear; but of course, no one will think that this really explains the matter. Let us try if we cannot think of a machine where the impulses to action are insignificant but the result tremendous. If it is possible to imagine such a machine, then there is no reason to deny the machine-like character of the origin of involuntary movement during fright. Here is an example of such a machine: a wire leading from one of the poles of a powerful galvanic battery is coiled round a piece of soft iron shaped as a horse-shoe; the end of this wire is submerged in mercury. Another wire, leading from the other pole of the battery, hangs over the surface of the mercury, nearly touching it. Under the ends of the horse-shoe, there lies at some distance a piece of iron weighing several hundred pounds. As long as the circuit is disconnected the iron does not move. But it is sufficient to blow on the lead hanging over the mercury to make it touch the surface of the mercury; the circuit is thereby closed, and the horse-shoe becomes a magnet and draws to itself the heavy iron piece lying under it. The impulse applied (the blowing) is very weak; but the effect obtained (the lifting of a heavy weight) is considerable. If we set a spark to gun-powder, we see the same thing. The spark itself undoubtedly represents a certain force, which may even be approximately measured (given a definite temperature and a definite combustible substance); but this force is negligible in comparison to that produced by the explosion of the powder.

Therefore, to explain why the intensity of the movements performed during fright does not correspond to the intensity of the stimulus, it is not only possible, but even necessary to accept that the mechanism of these movements is machine-like; otherwise we should fall into an absurdity which even a spiritualist cannot commit, for we should have to admit that purely material (muscular) forces are born from moral forces.

After all that has been said, the reader has the right to demand that I should demonstrate the existence in the human brain of a machine explaining the phenomena of fright.

Let us turn to this task.

The following is the plan of the machine: fear is inherent in man as well as in all animal organisms, even the simplest, which live, as we believe, on the basis of instincts. Therefore, fright is an instinctive phenomenon that takes place in the brain, and it is as much an inevitable consequence of the sudden stimulation of sensory nerves, as reflex movements are the inevitable consequence of fright. So that here we have three causally related activities of one and the same mechanism: the beginning of the phenomenon is the stimulation of the sensory nerve, the continuation is the sensation of fright and the end is the augmented reflex movement.

Let us analyze the case when fright arises from the stimulation of a spinal nerve.

Here, the excitation goes to the brain (as this is the only organ giving birth to conscious sensations), and moreover to a definite part of the brain,— the so-called cerebral hemispheres. This is proved by the fact that the removal of the hemispheres deprives the animal of the capacity of becoming frigh-

tened[1]. Consequently, those processes which augment the end of a reflex out of proportion with the intensity of the stimulus, take place in the cerebral hemispheres. This may be explained in two ways. The mechanism that augments the reflex may be of the same nature as the mechanism of the reflex itself, and in that case it must act both as the end of sensory nerves and as the beginning of motor nerves. The other possibility is that this apparatus is merely an addition to the usual reflex apparatus *N* (fig. 1) which is already known to the reader and which produces the cerebral reflexes, and that it is situated in the frog far behind the hemispheres. This second supposition is much more probable than the first one, because all the points of the skin without exception are connected with the skeletal muscles through the midbrain, i. e. independent of the hemispheres. Direct experiments show, moreover, that the hemispheres are the only part of the brain whose artificial stimulation does not call forth muscular movements; in other words, the hemispheres do not contain fibres with the properties of motor nerves.

We therefore see that the cerebral mechanism which produces involuntary (reflex) movements of the body and the appendages, possesses two apparatuses in the brain, one of which inhibits movements and the other, on the contrary, augments them, changing the proportion between the strength of the stimulus and the size of the effect. The augmenting apparatus is probably aroused to action only by the stimulation of sensory nerves; in conjunction with the reflex apparatus *N*, it constitutes the mechanism of fright. From this point of view, we might even accept, for the sake of simplicity, the idea that the sensation of fright is identical with the excitation of the apparatus which augments the final effect of cerebral reflexes. In any case, there cannot be the slightest doubt that they stand in the closest causal relationship to each other.

The interpretation of fright as the result of the sudden stimulation of the sensory fibres of the spinal cord can be applied without the slightest change to the stimulation of the cerebral nerves, e. g. the optical, auditory, etc. nerves.

So here we have, for the first time, a case where a psychical phenomenon is included in a chain of automatic, machine-like processes. But perhaps the reader is still unaccustomed to regard such phenomena from the point of view here developed. The analogy between the machine of fright and the electro-magnet does not satisfy him, and he is still in doubt. Let me repeat once more: if some external influence acts upon a man and does not frighten him, the intensity of the reaction (i. e. the muscular movement) which arises therefrom corresponds to the intensity of that external influence. But if the influence produces fright in man, the reaction is exceptionally strong. Now what I suggest is that in the last case the function of a new mechanism is added to that of the old reflex-producing mechanism, and intensifies the effect of the latter. Is not all this perfectly plausible? But the

[1] An animal deprived of the hemispheres seems to be asleep; although it does not lose the capacity to respond with reflex movements to the stimulation of the skin, but these movements have the character of automatic responses, differing in this respect from the movements of the normal animal.

reader might request me to show him laboratory experiments with a machine that is capable of augmenting reflexes, similar to those which have been performed with mechanisms which inhibit them. Such experiments have been performed [1], and I am particularly glad to describe them as they must appear very clear and convincing to anyone who is interested in the solution of the question with which we are dealing. Berezin (assistant in the Physiological Laboratory of this Academy) has found that when a frog has been kept at room temperature (i. e. 17—18°C) for several hours, and its hind feet are then immersed in ice-cold water, it will very quickly withdraw them from the water. This shows that the frog feels the cold and finds it unpleasant; it moves with the intention of escaping from the unpleasant feeling. It must be added, also, that the movement is always very strong,—as if the frog were frightened. If we repeat the experiment after removing the hemispheres, the animal remains perfectly quiet; it is a different matter, however, if the surface of the skin subjected to the action of cold water is increased,—if, for instance, the whole posterior half of the body is submerged: the frog will then move its legs. Isn't it clear that when movements are produced by cooling the skin, the presence of the hemispheres acts in the same way as the increase of the cooled surface of the skin? Everyone knows that the increase of the cooled surface intensifies the effect to such an extent that the feeling of cold becomes unbearable; consequently, *the hemispheres also intensify the effect of cooling on the movements of the animal.* Another experiment, showing the presence in the brain of the frog of mechanisms that augment the involuntary movements, was performed by the student Pashutin. He found that the movements of a frog in response to tactile stimulation of the skin are considerably increased, if the middle brain is stimulated by electric current. In this experiment, we observe exactly the same phenomenon as in the case when a man is touched unexpectedly: the frog responds to our touch by starting with all its body. If, on the other hand, the brain is not stimulated, the frog often remains quiet when touched.

In addition to these direct experiments, the idea that there exist in the body mechanisms which augment the involuntary movements is confirmed by phenomena observed in respiration and in the work of the heart. The nervous mechanisms, both for the respiratory movements and for the beat of the heart, include two antagonistic nervous regulators: one of them inhibits the respiratory movements and the beat of the heart up to complete stoppage; the other one, on the contrary, augments both of them.

What other proof do we need that the mechanism of the involuntary movements which we are examining possesses two antagonistic regulators,—one suppressing movements and the other strengthening them?

In concluding this section, a few words must be said of two consequences of extreme fright: one of these is fainting; the other is a state which in popular language is called to be «petrified». Both phenomena, notwithstanding their apparent dissimilarity, belong to the category of intensified reflex movements. Fainting takes place as the result of a reflex from some sen-

---

[1] In 1863, when the first edition of the «Reflexes of the Brain» was published, one of the experiments which I shall now describe had been made.

sory nerve on the vagus-nerve; the excitation of the latter either weakens considerably, or even, for a time, stops entirely the contractions of the heart, stopping thereby the supply of blood to the brain (paleness of the face) and even leading to the loss of consciousness. The inhibition of the muscular and nervous systems, which generally precedes fainting, is called paralysis from fright. This explanation is not far-fetched: everyone must have heard that the heart stops at the moment of fright, and only afterwards begins to beat strongly. The only people petrified by fright whom I have ever seen were in pictures. In most of such pictures, this state is expressed by the prolonged intensified contraction of the muscles of the face and of some of the muscles of the body (catalepsy). Hence, in this case also, the effect of fright is an increased reflex movement.

I shall not analyze those cases when fright takes place, while one is expecting to be subjected to some sensory stimulus other than the one that leads to fright. The reader himself can guess that under these circumstances the disproportion between the intensity of the stimulus that produces fright and the resulting reflex movement must be still greater; for in this case the function of the mechanisms which augment reflex movements is accompanied by that of the mechanisms which inhibit them. It is also obvious that our explanation, though based on the analysis of the effects of absolutely unexpected sensory stimulation, is equally valid in those cases when the stimulation is not sudden.

§ 6. We must include, in the category of involuntary movements with the predominant activity of the apparatus which intensifies reflexes, the numerous reflex movements accompanied by the feeling of sensuous satisfaction in the broadest sense of the word. To avoid misunderstandings, I shall give some examples of the phenomena I have in view: the laugh of the child when it sees a gaily-coloured object; the contraction of certain muscles which gives a characteristic expression to the face of a famished man when he eats, or to that of an amateur of fine scents, when he enjoys his favourite aroma; briefly, all those muscular movements which are based on the elementary feeling of sensuous satisfaction.

The mechanism of these phenomena is naturally the same as that described for involuntary movements in general. They begin with the excitation of the sensory nerves;—then follows the function of the centre (enjoyment); finally comes the muscular contraction. However, the conditions under which this kind of reflexes arise are entirely different.

Everyone knows that one and the same external influence, acting on one and the same sensory nerve, will at one time lead to the feeling of pleasure, and another time—not. For example, when I am hungry, the smell of cooking is pleasant; when satisfied, I am indifferent to it; and if I have eaten too much, I even find it unpleasant. Another example: a person lives in a room with little light. If he enters a better lighted room he finds it pleasant, and returns to his own room with the opposite feeling. But let him spend some time in a cellar, and he will return to his own room with a happy face. This is true for all sensations giving positive or negative satisfaction. What is the nature of these phenomena, and can they be expressed in physiological language? To begin with, is it possible to accept the existence of

a special mechanism for every change of sensation? Of course not, for if this were so, then in our example with the influence of the smell of cooking on the hungry and fed person we should have to assume at least three separate mechanisms: one for pleasure, one for indifference and one for aversion. We should also have to assume them for all the smells in the world. It is much easier to admit that the character of the sensation changes with the change in the physiological state of the nerve centre. Hypothetically, this change can even be given a mechanical explanation. Let us suppose, for example, that the central part of the mechanism, which begins in the nose with the olfactory nerves and is stimulated by the odour of cooking, is, at a given moment, in such a state that the reflexes from these nerves are directed predominantly towards the muscles producing laughter. Then, naturally, the olfactory nerves of the person will be excited and he will smile. If, however, the state of the centre is such that the reflexes can take place only in the muscles which pull down the corners of the mouth, then the odour of cooking will call forth a sour face. Now you have only to admit that the first state of the centre corresponds to the case when a person is hungry, and the second to the case when a person does not want to eat,—and the matter is clear.

Hence, there is nothing unreasonable in the supposition that the involuntary movements due to the feeling of pleasure are nothing but ordinary reflexes, whose greater or lesser complexity, i. e. developement, depends upon the physiological state of the nerve centres.

But why,—the reader will now ask,—do these phenomena belong to the category of reflex movements due to the activity of an element that intensifies reflexes? Formerly it used to be accepted that besides stimulatory effects, there also exist inhibitory effects; and all kinds of aversion were supposed to belong to the latter. To answer this question, I shall again call your attention to the example of cooking. The phenomena which the odour of cooking produces in a satisfied person I accept as normal. Here the reflex is weak—the muscular movement is hardly noticable (with ideal satisfaction, it may be null). In comparison with this, the reflexes in the hungry and the over-fed person are very sharp,—i. e. in both cases, the reflex movements are strong. Physiologically speaking, aversion is quite as much an augmented reflex as pleasure. Hence, our anatomical scheme of fright is applicable for the explanation of reflexes due to sensuous satisfaction.

I feel that the reader still does not believe, even after what has been said, that absolutely all involuntary movements in the human body can really be explained by the anatomical explanation given above. However, I shall try to show it is actually so. It is of no use to examine any more examples of involuntary movements, for even if it were proved we are right in a billion cases, and only ten cases remained not considered, the sceptic would have the right to suspect that these ten throw doubt upon our scheme. We shall, therefore, choose the only other way possible, and that is to examine the matter from the most general point of view.

We have subdivided the category of involuntary movements into two groups: pure reflexes, i. e. the cases when the process is not complicated by the interference of auxiliary (inhibitory or augmentatory) mechanisms; and reflexes in which the rôle of these auxiliary mechanisms is predominant,

i. e. reflexes due to fright or to sensuous satisfaction. The first group needs no discussion: the movements belonging to this group are performed by people in a state which may be compared to the absence of the brain, such as sleep, intoxication, somnambulism, complete concentration on one thought accompanied by abstraction from all alien influences, etc. The psychical element is entirely absent here. But,—the reader will protest,—is it possible that the only psychical elements composing the second group of involuntary movements are fear and elementary sensuous satisfaction? Yes,—I answer,—if under involuntary movements, we are to understand only those movements which science and society call «instinctive», that is those phenomena where there is no room for judgement or will [1]; and the reason is the following. All the instinctive movements in the animal organism without any exception,—are directed to the preservation of the intactness of the individual organism (the only exception is the sex instinct which leads to the propagation of the species). The preservation of this wholeness is entirely guaranteed if the individual escapes harmful external influences and is subjected to pleasant (i. e. useful) influences. Fear helps him to avoid the first, and pleasure forces him to seek the second.

This is the end of my analysis of the quantitative side of involuntary movements. The reader has seen that most external manifestations of the work of the brain can be explained by a very simple mechanical scheme. There can be no doubt that the actual phenomena are in reality much more complicated than in our scheme: in reality, most involuntary movements take place, not in a single muscular fibre or even in a single muscle, but in a whole group of muscles; whereas in our scheme we speak of the activity of single nerve fibres and a small number of nerve cells connecting these fibres. Nevertheless, this scheme explains the matter satisfactorily because it shows us the activity of the physiological elements that compose the total function of whole groups of nerves and muscles.

§ 7. It would now be advisable to pass to the description of the qualitative side of involuntary movements; but the reader must first become acquainted with the existing scientific views concerning the manner in which the activities of the separate elements of the reflex are combined, producing an integrated reflex movement that includes more or less considerable groups of muscles. I have already pointed out that a reflex element is composed of two nerve cells and includes a primary sensory and a primary motor nerve-fibre. Consequently, the activity of such an element is limited to those muscular fibres which are connected with the given motor nerve-fibre. Anatomy shows that in the body of man or animal there is no muscle all the fibres of which are innervated by the branches of one and the same nerve-fibre. Consequently, the activity of one muscle must be due to the com-

---

[1] On this ground, all cases of the following character should be excluded: You are compassionate but you cannot swim. You are walking near a river and see a person drowning: without stopping to think, you jump into the water to help, and are drowned yourself. People will say: this was an involuntary movement on your part; but that would be wrong. You jumped into the water because you were compassionate; consequently a thought must have passed through your mind before you acted.

bined activity of several reflex elements. How does this combination take place?

Since the elements we are speaking of (the primary nerve-fibres and the nerve cells) are invisible to the naked eye, the question can be solved only by a microscopic study of the spinal cord; unfortunately, the microscope,— which has rendered such great services in the study of the animal body,— seems to be powerless in the solution of our question: up to the present it has not been able to determine the form of connection between the nerve cells. Therefore, science accepts the existence of such a connection, not as a proved fact, but as a logical necessity. *Without the help of intra-neural connections it would be impossible to explain the mechanism of even the simplest reflex.*

The matter is different if our question is put in the following manner: are all the reflex elements in the body combined between themselves, so that there is not a single nerve cell in the spinal cord which is not connected with all the others; or are they distributed in the spinal cord in groups, and these groups are connected with each other only in definite directions? Stated in this form, the question allows of experimental solution; and the experiments on decapitated animals (frogs) speak in favour of the second means of combining reflex elements between themselves. The entire body of the animal can be divided, for example, into four reflex groups: the group of the head (skin and muscles of the head with their nerve-connections); the group of the trunk (skin and muscles of the trunk with their nerve-connections); the group of the upper extremities and that of the lower extremities. Each of these groups, when separated from the rest by cutting off the head and severing the spinal cord, can act independently; normally, however, it is at the same time connected with all the other groups in a definite manner. For example, the separated group of upper extremities of the frog responds to the stimulation of the skin of the manus by a movement of the extremities forward in the direction of the head, and backwards in the direction of the bind legs. If you examine this group in connection with all other parts of the body, you will find that the movement of the anterior extremities to the head can be called forth by the stimulation of any point of the skin anterior to them; the stimulation of any point of the skin on the body or hind legs behind the anterior extremities causes their movement in the opposite direction. A similar study of the group of posterior extremities of the frog shows that the stimulation of any point of the skin anterior to the hind legs forces them to move forward, in the direction of the stimulation. Consequently, in the frog all points of the skin of the head are connected by means of reflexes with the muscles that move the front and hind legs forward; all the points of the skin of the belly are connected with the muscles that move the front legs backward and the hind legs forward, etc. The connection between reflex groups is even more specialised: if, for example, you smear the skin of the belly of a decapitated frog with acid close to the middle line of the body, the movements of the legs will be directed to the middle line of the body (i. e. towards the locus of irritation); if the side of the belly is smeared, the legs are lifted again and move in the corresponding direction. In a word, every point of the skin is intimately

connected only with the muscles of its group; its connection with the neighbouring groups is very limited.

The connection of the spinal cord with the brain (or, more exactly, with the medulla oblongata), serves as a basis for the formation of new combinations of the reflex elements of the trunk and extremities into groups. It is believed that some elements of the spinal cord send their processes into the medulla oblongata, where these processes end, forming mechanisms that are independent of the other central formations. These processes, when roused to action by sensory stimuli, produce complex reflex movements; however, only those muscles participate in such a movement, the nerves of which are connected with the central mechanism which is excited at the given moment. Owing to this, every such movement is so typical, that it is given a special name even in ordinary life. Here belong, for example, the complex reflex movements of sneezing, coughing, nausea, swallowing, etc. As we shall soon see, only skeletal muscles take part in these reflex movements (with the exception of swallowing); the character of these movements never changes, i. e. the muscles participating in a given movement are always the same even when the movement is brought about by the stimulation of different area of skin. These neuro-muscular mechanisms come into the world complete; the new-born infant is at once capable of coughing, sneezing and swallowing. The act of sucking also belongs to this category of complex movements, although the muscles of the lips, tongue and cheeks which participate in this act receive their nerves, not from the spinal cord, but from the brain. Everyone knows that the new-born child can suck, i. e. is capable of producing a strictly definite combination of movements of the above-named parts of its body. Every one knows, moreover, that the activity of this complex mechanism is called forth by the irritation of the lips; place your finger, a candle, or a wooden stick between the lips of the new-born child, and it will begin to suck. Try the same experiment on the child three months after it has been taken from the breast, and it will suck no longer; nevertheless, we retain all our life the capacity to voluntarily produce sucking movements. These facts are most interesting: on one hand, they show the apparent cessation, in the child after weaning, of the conduction of sensations from the lips to those mechanisms of the central nervous system which produce the movement of sucking; on the other hand, they seem to show that the integrity of this conduction is supported by the frequent repetition of the reflex in the same direction.

The nervous mechanism that coordinates the movements of our hands and feet in the act of walking belongs to the same group. In new-born vertebrate animals, this mechanism (located in the brain in front of the medulla oblongata) can be brought to action by the stimulation of the skin; in some,—e. g. the horse and the chamois,—it is even capable of adequately functioning from the moment of their birth. But in adult animals it is brought into action, apparently, only under the influence of will and the capacity for judgement. Nevertheless, walking can also be a perfectly involuntary movement; this is proved, for example, by the fact that an animal deprived of the hemispheres remains in a state of slumber till its skin is stimulated, or till it is subjected to some other influence from without; but upon stimulation it will begin

to walk or run in a more or less normal way. We also know of the existence of certain lesions of the brain which produce the opposite effect: the animal begins to walk or run without end, apparently contrary to will. Such movements have even been called irrestrainable.

Is it not clear from all this that the locomotion of animals can be an involuntary act?

In man, it is apparently not so; the walking of man is asquired by learning, i. e. belongs to the category of movements which are performed under the influence of mental capacities and will. In addition, every one knows from personal experience that walking is voluntary in a very high degree; at least, it can be stopped, accelerated, etc. by will at any moment. And still, I am sure that when further on we pass to the analysis of habitual movements and of somnambulism, the reader will agree with me that even in man walking may be involuntary[1].

It is also noteworthy that if a small child who has just learned to walk falls ill and is compelled to remain in bed for a long time, it forgets the newly-acquired art: the coordination of the reflex groups which participate in walking is lost. This circumstance again shows the importance of the frequent repetition of a movement for the development of nervous activity.

We thus come to the conclusion that the mechanism of the coordination of reflex elements consists:

1) in the general connection of nerve-cells with each other by means of their processes,

2) in the connection of some of the reflex elements of the body with certain central mechanisms that are isolated from other similar mechanisms and lie in the medulla oblongata (and perhaps also in other parts of the brain).

§ 8. Now that we have examined the quantitative side of involuntary movements, let us pass to the study of their external character.

Unfortunately, the scientific study of the qualitative side of the phenomena which we are considering has hardly begun, so that I shall have to be brief.

Here are the most important features of involuntary movements:

1) Sensory stimulation is rapidly followed by movement.

2) The duration of the movement corresponds more or less to that of the stimulation.

3) Involuntary movements are always expedient. By means of these movements, the animal tries to prolong a pleasant sensory stimulation, or attempts to eliminate the stimulus either by avoiding it, or even,—if it is very strong,—by removing the irritating agent from its body. All this (with the exception of the reflexes of pleasure) can easily be demonstrated on the decapitated frog, where the involuntary character of the movement is beyond doubt.

Hang up such a frog vertically in the air and pinch its skin slightly in any place. This stimulation is immediately followed by an abrupt reflex movement which is as brief as the stimulation which has led to it. The matter is different if instead of pinching the skin you subject it to the action of

---

[1] Cases have been reported of men with certain diseases of the brain, who run unconsciously without stopping till they collide with some object and fall.

some kind of irritating liquid, e. g. sulphuric or acetic acid; in this case, the irritation of the skin is continuous, and instead of one abrupt movement you will see a long series of such movements. These two simple experiments answer the first two points, but at the same time they also suggest the idea of the expediency of reflex movements. This expediency is perfectly obvious in the phenomena of sneezing, coughing and vomiting. All these acts begin with a sensory stimulation (for sneezing—of the mucous membrance of the nose, for coughing—of that of the throat, for vomiting—of that of the posterior part of the oral cavity), and end with a complicated reflex muscular movement, involving chiefly the muscles of the thoracic and peritoneal walls. The purpose of all these movements is essentially the same,—to remove the irritating agent. During sneezing, the nasal cavity is freed from its contents by a swift current of air. During coughing, the same holds true of the throat; and vomiting, so to speak, cleanses, all those parts of the oral cavity which we cannot clean with our tongue. No one will think of disputing the machine-like character of these phenomena, for everyone knows that our will has no power over them; each of them inevitably follows the corresponding irritation. The automatic character of coughing, vomiting etc., is strengthened by the circumstance that the group of muscles participating in each of these acts is constant: the act of coughing is effected always by the same muscles; the same holds true of sneezing and vomiting. It is entirely different in the case of those complicated reflex movements which are due to the irritation of the sensory surface of the skin.

Here, the change in the conditions of the excitation brings about a change in the group of muscles which participate in the reflex movement. As a result of this the phenomena, remaining reflex, i. e. machine-like, become extremely diverse in character; sometimes they might even be taken for rational movements based on intelligence and will. I shall give some examples to show the reader that the intelligent character of a movement does not exclude the machine-like character of its origin.

Pinch the foot of a decapitated frog. By a simple movement, it will attempt to remove this foot from the irritation. Smear the same foot with acid. During a long time, the frog will wipe the smeared foot against some other part of its body, attempting to get rid of the acid. It is clear that the head is not necessary to distinguish between a pinch and acid. Similar phenomena can be easily observed in a sleeping man: a light tickling of the skin of his face calls forth a contraction of the underlying muscles. If this movement is not sufficient to remove the irritating agent, the sleeper scratches the irritated place with his hand. In these examples the movement are still very simple, and certainly no one will doubt their automatic character, i. e. their machine-like origin. We may now give some experiments which will appear to the observer to be more concerned with reason. Cut away the whole anterior part of the brain of a frog, almost to the medulla oblongata, and leave the animal lying free on the table. Give it time to get over the shock of the operation (about five minutes), and then pinch its foot lightly. The frog will creep away, trying to escape from the cause of the irritation. If such a frog is placed in water—pinching will compel it, not to creep, but to swim. Our frog cannot reason, for the «thinking» part of its brain (in the opinion

of physiologists, the large hemispheres) is removed; nevertheless the animal responds to the irritation as rationally as if its brain were intact; consequently, it possesses both judgement and will, and distinguishes its environment; for on the table it creeps, and in water it swims. P f l ü g e r, who studied the qualitative side of the phenomena which we are now examining, has described an experiment on the decapitated frog, where not even the presence of the medulla oblongata is needed, and where the apparent rationality of the reflex movement is even more obvious. A decapitated frog is hung vertically in the air. The skin of the belly is stimulated on one side of the body, say the right. Under ordinary circumstances, the frog rubs the irritated place with its right hind leg, and sometimes even with its right front leg if the irritated place lies close to the front leg. But if you cut off the right hind leg of the frog, it will rub the irritated place with the *left* hind leg, although this movement is undoubtedly unusual. Judging from this experiment, one would say that the intelligence of the frog is located in the spinal cord; and this is perfectly true, so far as movements arising in the spinal cord can be called rational. We shall not dispute about the name that must be given to such phenomena; the important thing for us is that the movement is inevitable, involuntary, automatic. The movement is involuntary because in the decapitated frog voluntary movements are impossible; it is inevitable because it always appears immediately after the sensory stimulation; and finally, it is automatic because it is inevitable. Hence, the reader sees that in the cases which we have examined all reflex movements are expedient, and that in some of the cases the expediency is carried to such a degree that the movement ceases to appear automatic to the observer and seems to be rational.

On the basis of the above experiments with the stimulation of the skin of the decapitated frog and the sleeping man,—we can establish the following general rule: the excitation of the sensory surface of the body at any point, may call forth various reflex movements according to circumstances; these movements may be effected by different groups of muscles, but their purpose is always the same, viz. to liberate the body from the action of a given external influence. In this sense, the reflex apparatus of the spinal cord is a part of the mechanisms that defend the entire organism from harmful influences acting directly on the skin. We say a part only, because the nervous mechanism of locomotion, in as much as it is also elicited by the sensory stimulation of the skin, must be included among the defensive devices of the organism, since it gives the animal another way of escaping from external forces. If, further, we add to these mechanisms the organs of sight and hearing (with which they are connected), we shall see that the animal is provided with the faculty of escaping noxious external influences even while they are still distant. The same is true of vomiting which removes irritating substances from the stomach; coughing which removes foreign substances from the throat and sneezing which performs the same for the nose; also the ejection of faeces and urine in response to the irritation of the intestine and the bladder. All these movements are both involuntary and expedient, for they are calculated to remove harmful substances from inside the body.

The nervous mechanisms by means of which harmful influences acting on the body internally and externally are removed, constitute a part of the apparatus guaranteeing the intactness of the organism as a whole; the activity of this apparatus is a proof of the presence in all animals of the instinctive (i. e. involuntary) feeling of self-preservation.

§ 9. No one, of course, will think of disputing the existence of the instinctive feeling of self-preservation in man. Everyone has unquestionably heard of human actions which can be explained only by the existence of such a feeling. Certain facts even seem to show that the interference of reason sometimes harms the efficiency of these instinctive movements. It is known, for example, that somnambulists accomplish most dangerous feats, climbing with an agility which is impossible in a fully conscious person. Tipsy horsemen are said to ride more skilfully in dangerous places on the road. In these cases, consciousness may injure the efficiency of the movements because it produces fear, and thereby elicits a new series of involuntary movements interfering with the first. However this may be, the reader will see that sometimes the seeming reasonableness of involuntary movements is not only equal to that of conscious acts, but even surpasses it. This is so because involuntary movements are less complex, and their efficiency is consequently more direct.

Hence, I repeat once again, the apparent rationality of a movement (from the view point of the preservation of the organism) does not exclude the machine-like character of its origin.

The strict systematizer might refuse to include the last two examples (those of the somnambulist and the drunken horseman) among involuntary movements. Indeed, we have already mentioned that involuntary movements do not depend on thought and judgement; and the reader might say that though the somnambulist and the drunken man may not remember afterwards what happened to them in their dream or during inebriation, still this does not mean that they were not thinking at the time. In support of his affirmation, the reader might give the example of a sleeper who cries and moves under the influence of a nightmare, although he does not remember the nightmare after awakening; or the delirium of a patient with high fever and the movements of fear of a madman during an attack of mania. The psychical element (i. e. some sort of imagination) enters without doubt into all these phenomena; this imagination may seem to the senses as real as any rational imagination.

These objections of the reader would be justified if I had said that absolutely all external actions of the somnambulist and inebriated person are involuntary. But I did not say so. I called involuntary only the wonderful capacity to retain equilibrium which a man, if he is not an acrobat, can exhibit only in the absence of consciousness; and it is obvious that a movement which is impossible in the presence of conciousness must necessarily be involuntary, reflex, instinctive. Now I shall ask the reader to pay particular attention to the following aspects of the examples which we have just analyzed.

1) *Involuntary movements may be connected with movements that are due to what is commonly called definite psychical notions* (thus, the equili-

bristic movements of the somnambulist and the drunkard are connected with the acts of walking and riding which are due to some psychical motive).

2) *Involuntary movements can form a whole series of acts* (e. g. during the dangerous voyage of the somnambulist over roofs, or the ride of the drunken horseman), *which are expedient, for they preserve the organism, and may, from this point of view, be called rational.*

3) *There are cases of involuntary movements where the sensory excitation (which is the beginning of every reflex) is undoubtedly present, though it can not be defined with clarity.*

All these points are so important that I shall deal with each of them more fully.

The equilibration of the somnambulist,—i. e. an involuntary movement,—can be combined with walking—an act which is due to some kind of psychical motive and is therefore not instinctive. This is absolutely true for those cases where the retaining of equilibrium can be separated from the act of walking, i. e., from the periodical movement of the legs. But how shall we look upon those cases where the entire equlibration consists in firm and correct walking,—when, for example, the somnambulist boldly crosses a deep precipice, walking on a narrow plank which hardly gives room for his feet? Only an acrobate would dare to do this in a moment of consciousness. Consequently, according to our definition, the movement of walking must in this case be called involuntary. Let the reader carefully consider what I have just said, and he will see that this is not a mere word-play, but absolute truth. However, how is it possible to call involuntary such an act as walking,—an act which we learn in our childhood, an act which develops, consequently, under the influence of the capacity for judgement? The following consideration will reconcile us with this idea. As far as the central mechanism of locomotion is concerned, man may be placed on a level with other animals, because the offspring of some animals are also unable to walk immediately after birth, but have to learn to walk. Nevertheless, it has been proved that in these animals the centres of locomotion lie, not in the cerebral hemispheres where the impulses are born for all the so-called voluntary movements, but in the middle parts of the brain (in the frog, for example, in the medulla oblongata); consequently, the same must be true in man. From this we may conclude that the walking of man may also be involuntary. But how then are we to understand the continuity of walking? What impulses,—i. e. what sensory stimuli,—call forth this series of periodical movements? (For we have said that the duration of a reflex movement corresponds to the duration of the stimulus that calls forth this movement). I answer definitely: during walking, the sensory excitation is given at every step, by the contact of the foot with the surface upon which the person is walking and by the feeling of support which arises therefrom. It is also given by the sensations which are born in the contracting muscles (the so-called muscular sense). The importance of these sensations in walking is best seen in people who have lost the capacity to feel stimuli applied to the skin and muscles of their legs. In the day-time, these people can walk somehow, because the loss of other senses can to a certain degree be compensated by sight; but in the dark such people cannot move; not feeling the ground un-

der their feet, they cannot stand even for a few seconds without falling. If the reader has ever stumbled when walking, he can imagine what these people must feel. Suppose, for instance, that you are walking along a dark corridor, and unexpectedly encounter a flight of stairs leading down; your foot suddenly falls into emptiness, and fear ceases only when the foot has found some firm support. People suffering from sensory paralysis of the muscles and skin must experience the sensation of falling into an abyss immediately upon closing their eyes, and are therefore unable to make a single step. Moreover, how can such a person know when his foot has left the floor and when he must put it down again? It is obvious that in these movements, which are repeated by each foot at every step, we are guided by sensations only. And it is remarkable that walking is incomparably more disturbed by the loss of the muscular sense (which is a vague sense and hardly reaches consciousness) than by the loss of tactile sensations, though the latter are much more distinct.

It might by replied to the pathological example which I have given that it is only fright which interferes with walking in the dark. This objection is in reality groundless. Observe how the manner of walking of an absolutely normal person changes, when, instead of walking on even ground, he is ascending a steep incline, or plodding along an uneven road. The movement is different in all these cases. This means that the normal man adapts the movements of his body to the character of the surface on which he is moving. He can judge of the character of this surface only by means of the sensations of his eyes and feet. Now imagine a man who has no means whatever of judging of the character of the road; how will he adjust his gait?

We see, then, that in some cases, walking can be an involuntary movement. In as much as walking belongs to the category of movements which are acquired by habit and learning, i. e. under the influence of the capacity for judgement, it might be supposed that all such movements can become involuntary,—on condition, of course, that normal consciousness (at least in relation to these acts) is similar to the consciousness of the somnambulist and the drunken man.

Unfortunately, we are unable to give a physiological description of this state of consciousness. The only thing that we can say with certainty, on the basis of the phenomena of intoxication brought about by alcohol, opium, chloroform etc., is that in all these cases,—just as during ordinary sleep, or in insanity, delirium, and attacks of mania,—the normal sensitivity, though not entirely abolished, is at least considerably dulled. (Let the reader think of the loss of sensitivity, under the influence of alcohol, chloroform, or opium, to the severest pain, of the lowered sensitivity to every kind of external influences in deep sleep, etc.). I do not assert that this decrease of normal sensitivity summarizes in full the states of intoxication, slumber, etc. I do think, however, that the dulling of sensitivity is the chief, the most essential element among the conditions we have examined. In any case, the only really obvious change that has been found in the activity of the drunken man, the sleeper, the maniac, etc., by means of physiological investigations, is the dulling of the sensations. Now see to what conclusions this brings us.

The dulling of sensations shows that the work of those parts of the brain which (as shown by physiological experiments) are necessary to make sensation possible, is decreased, or even stopped altogether, when sensitivity and consciousness are totally lost. But even when the sensory stimulus (sound, light, a prick of the skin etc.) is entirely cut off from consciousness, it still calls forth a series of movements in the body. It is obvious that these movements must be involuntary.

For greater clarity let us study the phenomenon of somnambulism from this point of view. The beginning of the act is some undefined sensory stimulus; the continuation is some imagination,—(very vague and dull, owing to the decrease of sensitivity); the end is climbing over roofs. Does this not display a striking similarity to the mechanism of fear? The only difference is that in one case the psychical element is the feeling of fear, while in the other case it may be some psychical formation of a higher order, e. g. some sort of imagination. The latter, however, is not so clearly felt as the feeling of fear. Consequently there is no disputing the conclusion that the two phenomena are similar.

This also shows that all movements during ordinary sleep and in delirium, even if they arise, as is commonly said, «out of dreams», i. e. out of definite psychical acts, are strictly involuntary, i. e. reflex movements.

The entire psychical life of man can be reproduced in a sleep and in delirium (naturally in a distorted form); consequently, all habitual movements, and all movements that have been learnt under the influence of the capacity for judgement, may become involuntary. I limit myself to two examples of which I was an eye-witness. While a student, I saw in a Moscow hospital a cook who had fallen on his head from a considerable height; he was brought in unconscious, and this state continued till his death. Every day in the forenoon, i. e. at the time when, before his sickness, it had probably been his business to prepare meals, he could be seen moving his hands as if he were mincing meat with two knives, as is generally done by cooks. Here we see a movement which had been learnt before the illness and was undoubtedly of reflex nature. In this example, we even see the possible beginning of the reflex act, viz. a sensory excitation (produced, naturally, by the properties of noon, in so far as these properties can influence the sensory nerves); however, here also the exact determination of the stimulus is not possible. Another case is the following: A person I knew very well had a habit of folding his hands in a very characteristic way when enrapped in thought; this habit was well known to me. I happened to be present at his death. When according to all external signs, he had lost consciousness, he folded his fingers in the characteristic way[1]. The dulling of sensitivity

[1] There is a very clear experiment with the decapitated frog which shows how the habitual movements of the normal animal are retained in the character of its reflexes when it is decapitated. A decapitated frog sitting with its hind legs pulled up under its belly will respond to a pinch of its toes by extending its legs. If, on the contrary, the toes were pinched at a moment when the legs were extended, the animal will bend its legs, drawing them under its belly. If the pinch is strong, the frog will jump in both cases. The matter is perfectly clear: under normal conditions, the frog would have attempted to escape from any pinch, whether strong or weak; but in the given conditions its reaction is

thus proves to be a very important fact for the explanation of the mental activity of the inebriated man, the sleeper, and the somnambulist. Let us see whether it plays any rôle in the activity of the same organ under different conditions.

As every one knows, in a distracted person, or a person whose mind is entirely concentrated on some thought, sensory reception is more or less dulled in many directions, if not all. For example, if a person is attentively listening to something, he hardly sees what is taking place about him, and vice versa. In people capable of strong concentration of thought, this dullness to certain external influences often reaches a surprising degree. It is known, for example, that a madman, when under the influence of an insane idea on which he is concentrated, may remain indifferent to cold, hunger, and even to the most cruel pain. A certain dullness to external influences may always be noticed in a man whose mind is occupied in another direction. On the other hand it is also known that those very influences to which our senses are dulled, call forth movements very easily. These movements either remain unnoticed by the person who performs them, or call forth very indistinct sensations; in any case, they are involuntary to such a degree that even in common parlance they are called «mechanical». It goes without saying that all such movements (from the point of view of their mechanism) must be included in the category of involuntary movements, whether they are accompanied by sensations or not.

After what has been said, the reader will agree with me that the habitual state of contraction of the muscles of the body which gives a definite appearance to every individual person, and which, in most cases, does not depend on judgement and will, is also reflex, although both judgement and will haye participated in its development. Such are, for example, the habits of keeping the mouth open, pouting lips, blinking, squinting, inclining the head to one side, biting finger-nails, picking the nose, etc. All these movements are involuntary when they take place without the participation of judgement.

We have now exhausted the sphere of involuntary movements and given their interpretation.

In concluding this chapter on involuntary movements, I shall briefly summarize the results of our study of these movements.

1) The basis of every involuntary movement is a more or less definite excitation of a sensory nerve.

2) A sensory excitation which produces a reflex movement may also call forth conscious sensations; such sensations, however, is not inevitable.

3) In a pure reflex devoid of the psychical element, the relationship between the force of the excitation and the intensity of the movement remains constant under given conditions.

4) If the reflex is complicated by the psychical element, this relationship may vary in both directions.

---

proportionate to the intensity of the sensory stimulus: a weak stimulus leads, so to speak, only to half-a-jump. This is why it must extend its legs when they are bent, and bend them when they are extended. Both movements are the beginning of a jump.

5) The reflex movement always follows rapidly after the sensory excitation.

6) The duration of the reflex movement and that of the sensory excitation correspond to each other, expecially if the reflex is not complicated by psychical elements.

7) All involuntary movements are expedient from the point of view of the preservation of the integrity of the organism.

8) The types of involuntary movements described above are equally applicable to the simplest and to the most complex reflexes,—to an abrupt movement lasting one second, and to a whole series of successive reflexes.

9) The possibility of frequently repeating a reflex in the same direction depends either on the presence in the body of a definite inborn mechanism (e. g. the mechanism of sneezing, coughing etc.), or it is acquired by learning (e. g. the mechanism of walking), i. e. by means of an act in which judgement participates.

10) When the sensory reception is dulled in one, several, or all of the senses (sight, hearing, smell etc.), the mechanism of all movements originating in these senses,—whether inborn or acquired by learning, whether accompanied by psychical imagination or not,—is in every case reflex.

11) This mechanism consists of sensory and motor nerves with their cells in the cerebral centres; these cells are the beginning of the nerves, and send into the brain processes along which the latter influences the reflex movement, by strengthening or weakening it.

12) It is the activity of this mechanism that is a reflex.

13) The machine is started by the stimulation of the sensory nerves.

14) Consequently, all involuntary movements are machine like in their origin.

All the features of involuntary movements mentioned above must be born in mind if we are not lose our way in the extremely complicated maze of voluntary movements which we shall now discuss.

CHAPTER 2

VOLUNTARY MOVEMENTS

Solution of the question of the origin of every psychical act. Inhibition of conscious movements.—Fear.

§ 10. Passing to the examination of voluntary movements, I must warn the reader that he will often be conscious of the lack of physiological experiments in this field, and that I shall often have to abandon the rôle of physiologist. I shall try, however, even in these difficult cases, to follow the custom of naturalists by frankly admitting my ignorance, and build my hypotheses only on solid facts. For this reason much will be left undealt with; but on the other hand all that will be dealt with will have a comparatively sound basis. I hope that the very difficulty of my task will dispose the reader to be indulgent to this first attempt at considering the phenomena of voluntary movements as the machine-like activity of comparatively simple mechanism.

My task will be to explain the external activity of a man with an ideally

strong will, who is acting on some high moral principle, and is clearly conscious of every step he takes (the reader must not forget that all the external human activity is composed of muscular movements); it is my intention to show that such activity,—although it is voluntary in the highest degree,—can be explained as the function of the anatomical scheme already given to the reader.

Therefore, we must prove:

1) that this type of activity is composed of reflexes which begin with sensory excitation, continue by means of a definite psychical act, and end in muscular movement.

2) That a given sensory stimulus inevitably leads to the other two components of the whole phenomenon, and always in the same sense,—granted, of course, that the external and internal conditions are the same; i. e. that the environment in which the action takes place and the physiological state of the person who is performing the action are unchanged.

Before developing the arguments that prove these two points, I shall try to show in a few words that the final member of every voluntary act, i. e. the muscular movements,—is identical with the action of muscles in pure reflexes, i. e. in elementary involuntary movements. Physiology shows that there exist no special motor nerves or special muscles for voluntary movements. The same nerves and muscles which serve for performing purely involuntary movements act also in the voluntary movements. If there is any difference at all between the two acts, it consists only in the external character of muscular contraction, i. e. in the greater or lesser rapidity of the contraction, and the greater or lesser degree of shortening of the muscle. The reader already knows that the endless complexity of muscular movements can be reduced to various combinations of these two mechanical features of muscular activity.

Consequently, the part of the reflex machine which consists of the motor-nerve and muscle is also suitable for performing voluntary movements.

Now let us try to discover how the voluntary movements begin, i. e. how the excitation of the sensory nerves takes place. The next question will be whether there exist structures in the brain which participate in voluntary movements by retarding reflexes, and how they participate in them. We shall also look for structures which strengthen reflexes. Our task will be c mpleted if this examination gives us a full understanding of the most voluntary of all voluntary movements.

The first thing our reader needs is a list of the properties of the typical voluntary movement. Here is the key to the composition of such a list: keep before your eyes the list of the features of involuntary movements given at the end of the preceding chapter, and at the same time imagine an act performed by a man with a strong will who is acting in accordance with a high moral principle and is clearly conscious of every step he takes.

1) The movements of such a person are not based on any obvious sensory stimulations (for such men cannot be turned away from the selected path even by the most powerful forces of nature; and they are deaf to the voice of all natural instincts).

2) The movements of such a person are determined only by the highest

psychical motives, the most abstract principles, such as the idea of the welfare of the human race, or love of the fatherland, etc.

3) Human will can diminish the external activity even to complete apathy (chiefly through self-consciousness, i. e. by feeling oneself apathetic). The voluntary increase of external activity, however, is possible only to a certain degree; thus, for instance, enthusiasm with its external manifestations does not obey our will.

4) The moment when the external manifestation of an act takes place depends on the will, as long as the psychical motive that leads to this act is not complicated by passion (this is also effected through self-consciousness).

5) The duration of the external movement is subjected to will (through self-consciousness), though it depends, of course, on the greater or lesser fatigue of the nerves and muscles. Excess of the psychical motive always raises the external activity to the highest degree, which is also limited by the organization of nerves and muscles.

6) Highly voluntary movements often contradict the instinct for self-preservation. They are expedient only from the point of view of the psychical motive that leads to them.

7) Will (through self-consciousness) directs the grouping of individual voluntary movements. Here again, the condition is that the psychical motive should be devoid of passion.

8) Voluntary movement is always conscious.

The reader sees that the definition of voluntary movements which I have given above coincides with that usually given by such educated members of society as are accustomed to being conscious of their own feelings. The reader also sees that I have exaggerated, rather than minimized, the current conception of the rôle of volition. I have done so partly because the object of my study is the highest type of voluntary activity, and partly because it is my purpose to make my first approach to the problem, not as an observer, but as it is generally done, viz. believing implicitly in the voice of self-consciousness.

Let us now examine the first point critically.

§ 11. Is it really true that there is no sensory excitation at the basis of voluntary movement? And if there is, then why is it so difficult to discover this sensory excitation in typical cases of voluntary movement?

Let me warn the reader that the answer will take a long time, because I shall have to begin with the analysis, not of the highest type of volition, but of its development from the cradle, dealing in the course of this analysis with intermediary stages of development. The reader will now demand that I should justify this method, i. e. prove that it really leads to the goal.

Here is my justification. The character of man develops gradually from the cradle, and a very important rôle is played in this development by contact with life, i. e. by upbringing in the widest sense of the word. Now, since we judge of the character of a man entirely by his external activity, it follows that the external activity of man (i. e. his voluntary movements) has the same history of development as his character.

Man is born with a very small number of instinctive movements in

the sphere of the so-called animal muscles, i. e. the muscles of the head, neck, hands, and feet, and those of the body-muscles which cover the skeleton from the outside. He can open and close his eyes, suck, swallow, scream and cry, hiccough, sneeze etc. All other movements of his hands, feet, and body are also governed, undoubtedly, by means of reflexes.

The sensory sphere in the new-born child is also very limited, for it does not know how to look, listen, smell, and touch. This is easily proved: all these acts require the activity of definite groups of muscles which the new-born child is not able to use effectively. For example, to see an object lying before the eyes, the first thing neccessary is that the axes of vision of both eyes should meet upon the object; this is done with the help of the muscles which move the eyes in all directions. The newborn child is unable to use these muscles effectively: its eyes do not rest on any definite object; and of course, no one has ever seen a new-born child performing the movements of smelling. However, he will learn both in the course of time. I shall now show in detail the process by which the child learns to perceive objects, because this process may serve as an example of the elementary education of the senses in general.

Some preliminary data on the structure of the eyes must be given to make my meaning clear to the reader. At the back of the eye, opposite to the pupil, the optic nerve terminates in the form of a continuous membrane,—the so-called «retina». Objects lying before the eye produce impressions on this membrane as on a photographic plate. The presence of these impressions are absolutely necessary for the sense of sight. Not all the surface of the retina is equally sensitive to light. The strongest sensation of light arises only when the image of the object falls on the part of the retina lying on a line that can be determined in the following manner: if an adult person looks with both eyes at an object before him, and if we draw straight lines to the centres of his pupils, mentally continuing these lines into the eyes, they will fall upon the retina in that part of it which is most sensitive to light. These lines are called the axes of vision. To direct the axes of vision of both eyes, i. e. to see an object distinctly, we must, consequently, learn to turn our eyes towards the object in such a manner as to obtain the clearest perception of the object. We can now understand how this art is acquired. Vividly coloured objects are often held before the child. The eyes of the child, wandering to all sides, receive colour impressions of varying strength; the strongest impressions occur when the optical axes fall on the object. The brain of the child is so constructed, that the stronger the colour the more it is pleased. Therefore it is clear that without any judgement, i. e. quite involuntarily, the child will strive to keep its eyes in the position that gives the most pleasant sensation[1]. The muscular movement, which here plays the chief rôle, is always an involuntary movement which develops in the given direction under the influence of habit, i. e. under the influence of the frequent repetition of a movement in one direction. Conse-

[1] For the sake of brevity I have omitted the rôle of muscular sensations and the complication of the process by double vision; clearness and truth will not suffer by this omission.

quently, the elementary act of vision, even in the adult, is an involuntary act, although acquired by learning.

The structure of the retina which permits certain parts of it to feel light better than its other parts, serves also as basis for another involuntary act; the psychical aspect of this act in its highest development is named «attention to optical sensations». Attention is expressed by the clarity of sensation produced by the object on which the attention is centered (on which we are looking, i. e. on which our optical axes are directed), and by such a lowered sensitivity to surrounding objects that sometimes they disappear completely from the field of vision. I shall demonstrate this by an very convincing example taken from the physiology of the eye. If the reader has not read treatises on the physiology of the eye, he will at first be surprised to hear that when one looks attentively at an object, everything lying nearer or further than the fixed point, will appear doubled. You can convince yourself of this very easily: fix your eyes immovably on a definite object, not letting them roam from one object to another. Having thus convinced yourself of the truth of what I say by personal experience, try to remember whether you (or anyone of your acquaintances, provided they have normal eyes), have ever had to apply conscious efforts against the duplicate optical perception of objects surrounding the one you wanted to see. No one has ever experienced such moments; consequently, the disappearance of these objects from the field of vision must be due to some organic reason, a reason that does not depend on the will of man. What is called attention in the field of optical sensations, is, consequently, an involuntary act. Optical attention is actually nothing else than the converging of the optical axes of the eyes on the object of observation. According to the data of experimental psychology, attention to an object lying before the eyes produces a clear sensation. According to physiological investigations, this sensation is composed of colour, outline and form,—so that one is justified in raising this sensation to the level of *imagination.*

Hence, the process of the development of *imagination* does not depend upon will. This psychical act is called forth by the excitation of the part of the optical membrane which is most sensitive to light.

Let us now see how the excitation of the optical nerve ends. Optical stimuli always produce in the child more or less widely irradiated reflex muscular movement: when a vividly coloured object is placed before its eyes, it screams, laughs, moves its arms, legs, and body; it is clear that the child is capable of reflexes from the optical nerve in all the animal muscles of the body. This is extremely important: an endless variety of movements of the body by means of an endless variety of groupings of the muscles can develop under the influence of optical sensations. Moreover, the association of optical sensations with muscular and tactile sensations are thereby made possible. The chief organ of touch in man is his hand; by means of reflexes from the optical nerve, it is brought into movement, and, encountering external objects, calls forth sensations of touch in the broadest sense of the word. However, a long time passes before the child learns to feel with its hand. At first, it cannot even hold an object which is placed in its hand, though its hand grips this object involuntarily. It is well known

that optical sensations are particularly easily associated with those of touch; hence, in our conception of the form of bodies (round, cylindrical), in our ideas of the smoothness or roughness of the surface of objects, etc. these two kinds of sensations are blended. It is further understood, that these complicated ideas do not essentially differ in their development from the most elementary feelings. Before going further, I shall enumerate the series of processes forming the history of the development of the complicated optical imagination.

First Reflex

Impression of light.

Unclear sensation of light.

The contraction of the muscles which move the eyes and adapt them to distance.

Second Reflex

The action of light continues.

Clear sensation.

Movement of the hands and feet.

Owing to the reflex, the hand comes into contact with the visible object; this leads to the

Third Reflex

Impression of touch.

Sensation of touch, leading to the movement of the hand and to the grasping of the object.

This example does not require further explanation.

Every optical image, already complicated by tactile sensations, can be further complicated by the stimulation of other senses. Among these associations, a particularly important rôle in the development of man is played by the optico-acoustic sensations.

Acoustic attention (listening) is an involuntary movement acquired by learning. Both in man and animals, it is outwardly expressed by movements, the purpose of which is to place the external ear in the best conditions for the action of sounds on the ear-drum. This act of listening is exactly the same as that of converging the axes of vision on an object. Acoustic attention is obviously limited to this external act, when the task is merely to hear a sound, be it ever so soft, on condition that it is a s e p a r a t e sound. It is a different matter when the sounds are combined into words. It is a different matter again when the mere act of listening is insufficient for the clarity of perception. For example, you have learned the English language; you read and understand everything, you pronounce words correctly, but have never lived among Englishmen. If you listen to them speaking, you will not understand a single word, no matter how much you strain your attention. But if you live among them for a month, you will begin to understand every word in their conversation. How this takes place will be explained later. Now the reader will undoubtedly agree that this kind of attention is a matter of habit and a perfectly involuntary act.

After what has been said, it is clear that the hearing of a new-born babe is approximately in the same condition as would be the hearing of a Russian peasant if he accidentally found himself in the society of Englishmen. In both cases, much time will pass before they learn to listen to words. This condition is expressed in the lisping of the child: the reflexes from the organs of hearing to the muscles of the larynx, tongue, lips, cheeks etc. (the muscles used in speech) which were uncoordinated up to that time now begin to take on a definite form. It is well known that people who are deaf from birth never learn to combine sounds into words; this is the most obvious proof of what has been said. However, the capacity to hear words is only one of the conditions for the articulation of sounds. Remember how much time passes from the first word «mamma» until the child begins to speak [1]. The chief factor in the development of speech is the instinctive tendency of the child to imitate the sounds acting on its ear. It shares with animals,—especially birds,—this mimicry in regard to sounds. In the child and the parrot, the process of combining sounds into words is undoubtedly the same. It is based mainly on the association of the sensations called forth in the individual that produces the sound by the movement of his muscles of speech with the acoustic sensations called forth in him by the sounds of his own speech. Such acts are involuntary, and must therefore belong to the group of reflexes that are acquired by learning.

There is no word in the lexicon of the child, or even of most adults, which has not been acquired by learning—either orally, or by reading and writing. I think this hardly needs proof; compare, for example, the vocabulary of a ten-year-old child who is learning foreign languages and other sciences, and that of an 80-year-old illiterate peasant who has never left his village.

Therefore, the very process of combining sounds into words is really the same in the child and in the parrot. But what a terrible difference in their conversational capacity! In ten years, the parrot learns only a few phrases, while the child in the same time learns thousands. The former pronounces his phrases mechanically, while the speech of the second, even in early ears, has, so to say, an intelligent character. The latter is due, primarily, to the association of acoustic impressions with those of sight and touch; and the greater the diversity of these associations, the more pronounced it is.

When an animal or child hears a sound, the reflexes from the stimulated auditory nerve include the turning of the face in the direction of the sound and the movement of the muscles of the eye-ball. The first movement is the act of listening, because sound acts best on both ears when the face is turned towards the source of the sound. The second movement leads to optical sensation. These two consecutive reflexes acquired by learning form the elementary type of optico-acoustic association. Consequently, the process is the same as in the combination of optical sensations with those of touch.

---

[1] The mechanism of pronouncing the word «mamma» is the simplest; the syllable *ma* is produced by simultaneously making a sound with the larynx and opening the mouth; all other muscles of speech and sound are passive.

This will be shown best by an example. Let us take our old example of the formation of an optico-tactile association and introduce into it an acoustic sensation (see page 293.). Suppose the object grasped by the child is a bell. In this case the muscular and tactile sensations produced by the grasping of the bell are accompanied by the stimulation of the acoustic nerve; this is followed by the sensation of sound and by a more or less extended reflex movement. Thus a fourth reflex is added to the three previous ones. If the process is repeated often, the child begins to recognize the bell both by its sound and by its appearance. And later, when, under the influence of learning the reflexes from the ear to the tongue begin to take on a definite form, the bell receives a name—«dinn-dinn». The same thing is repeated when the child learns the real name of the bell, because this name is a conditional sound,— just as much as «dinn-dinn». Now see what this leads to: the consecutive series of reflexes gives a very complete idea of the object, it *imparts knowledge in its elementary form.* Indeed, all our scientific knowledge of external objects is nothing other than a vastly extended idea of each of them, i. e. the sum of all sensations which these objects can call forth in us under all possible conditions.

I shall not deal with the education of taste and smell, for this would lead merely to the repetition of all that has already been said concerning the other senses. I shall only mention that sensations from all spheres of the senses can be combined in the most diverse fashion, but always by means of consecutive reflexes; and it is from these combinations that innumerable ideas are born (beginning from childhood) which serve, so to say, as material for all the rest of our psychical life. I would characterize the value of this material in the following way: *the child knows,—and knows positively,— all the external influnces which surround him in his childhood; he knows them concretely, in their most simple and ordinary form; in other words, he has a direct knowledge of phenomena, as given by nature.* To show that this material already includes the beginning of all higher psychical acts, I shall prove that the elements of the famous conception of «space» are already present in the child. As is well known, the sole property of space consists in the mathematical conception of its measurability in three different directions— width, height and depth. Our eyes, as every one knows, are capable of measuring the size of objects. For example, if a cube stands before us so that three sides of it are visible, the width of this cube corresponds to the muscular sensations produced by the horizontal movement of the optical axes intersecting on the object [1]; the same movement up and down creates a sensation of height. Finally, the gradual change of the angle of intersection of the optical axes which takes places when we look at different points of the object lying consecutively further and further from us (i. e. along the depth of the object) produces the sensation of depth; this is so, because the converging of the optical axes is a muscular act. This complicated process is repeated in childhood innumerable times, for all objects of the external world have

[1] The optical axes are linear, and therefore can cross each other at only one point; consequently the only way to see a line is to move the eyes so that the point of intersection of the optical axes is lead along the whole length of this line.

three dimensions. Consequently, the elements necessary for the conception of space are really present at an early age.

Let us summarize all that we have said concerning the development of the child.

The child acquires consecutive reflexes in all spheres of the senses by means of absolutely involuntary learning, and thereby obtains a mass of more or less full conceptions of objects, i. e. elementary positive knowledge. This knowledge occupies, in the integrated reflex, exactly the same place as the sensation of fear occupies in the involuntary movement, corresponding, consequently, to the activity of the central element of the reflex apparatus.

The next step in the development of the child is the result of the analysis by means of which the child forms its concrete impressions of space and time. We shall occupy ourselves with the examination of the material organization of man which makes this analysis possible; and we shall see whether these psychical acts and their external manifestations may be included in the category of reflexes.

First, however, we owe the reader an answer to the following important question: does the new-born child react to the external influences on his senses passively, or are the relations of the child to the external world active? In the latter case, it is necessary to show the character of these relations, because they add themselves to the action of the surrounding world on the child, necessarily influencing the character of these results.

Physiology is in possession of facts that enable us to decide this matter. From observations on the adult man, the child and animals, it is known that the first condition for the maintenance of material integrity, i. e. for the maintenance of the function of all nerves and muscles without exception, all organs must be adequately exercised: the optic nerve must be subjected to the action of light, the motor nerve must be stimulated and its muscles must contract, etc. On the other hand, we know that if the exercise of any of these organs is forcibly prevented, the person experiences a strained feeling that compels him to perform the necessary action. It is clear, therefore, that the child does not react passively to external influences. It is also obvious that the striving of the child towards the outside world is an instinctive, involuntary phenomenon, and that this striving, when it is satisfied,—i. e. when it calls forth some kind of movement in the child,—is in all respects a real reflex. The child is completely in the power of this instinctive striving, and that is the reason of the particulary mobile character of childhood; the child is continually passing from the exercise of one nerve to that of another. This instinctive striving is also the source of the many-sided development of the organs of senses and of movement. There is, howerer, another reason why the child never concentrates for very long on one impression; this reason is the fatigue of the nerve, i. e. the property, common to all nerves, to function less strongly after a prolonged activity in one direction. All these are wellknown facts.

Hence, the character of the phenomena arising from the action of the external world on the child is not changed by the influence upon them of active striving on the part of the child. One more reflex is merely added to the others.

Let us now turn to the conditions for the analysis of concrete impressions.

Here we must include all phenomena relating to the disintegration of concrete impressions into their elements; this applies both to impressions composed of uniform sensory elements,—e. g. exclusively optical ones,—and to complex impressions,—e. g. optico-acoustico-tactile ones.

Suppose, for instance, that a child is looking at a picture in mosaics representing a man. First the child sees the entire figure, i. e. the concrete impression; then he notices that the man consists of head, neck, hands, feet etc. On close examination he sees every little stone—perhaps a thousandth part of the whole picture,—separately. How does this capacity for analysis and synthesis develop?

The first condition is, of course, that the eye should be able to receive a separate impression of every point of the visible object separately from the others, and should, at the same time, perceive them all together. This condition is satisfied by the structure of the retina, and lies, therefore, in the material construction of the eye.

The retina, or optical membrane on which the images of the objects we see are impressed, and where all the nerve fibres of the optical nerve terminate, can be compared with the surface of the photographic plates that are used to take portraits. Just as the surface of the plate consists of an endless number of points lying close to each other, but independent of each other in the reception of light impressions, so the retina is a mosaic of separate areas. A ray of light can not pass from one area into the neighbouring areas. If we add that each area may be regarded, to a certain degree, as the terminal of a separate nerve fibre, the reader will easily understand that if the image of the object on the retina covers a thousand areas, the eye must see this object made up of a thousand separate points. But the possibilities of the eye are still greater: it is capable of seeing apart each separate point of the entire image of the object. This is attained by the unequal distribution of the optical areas on the surface of the retina. In the part of the retina upon which the optical axes fall, these areas lie very close to one another; the further the distance from this point, the greater the space between the areas. It is clear that the sensation produced by the points of the object that are impressed on the retina where the optical axe falls upon it must be more clear than the sensation produced by the other points of the object. As the reader already knows, this is the first condition for optical attention.

A mosaic picture representing a man stands before the child. The child can see all the picture at once, but the optical axes of its eyes are directed to one point of this picture, say the nose; in that case, the child sees the nose best of all, the mouth and eyes—less clearly, and the feet, owing to their distance from the nose, worst of all.

In this way it is possible to see at once both the whole and the part.

It is not necessary to tell the reader the history of the development of this capacity, i. e. of how the habit of analyzing concrete optical sensation is acquired. It goes without saying that this habit is acquired in the way already described by us for the development of concrete optical images,

i. e. by repeating the reflex many times.[1] I shall merely mention the advantage which this analytical power of the eye presents for the psychical life of man. It provides the basis for our conceptions of the complexity of the external bodies of nature, of their divisibility and size. The same analytical power of the eye partly gives us our conception of motion; but only partly, for motion is determined by the distance covered by the moving body, and the time taken to cover this distance, and the latter element is absent in the purely optical impression of moving objects.

The tactile surface of our body, like the retina of our eyes, is divided into areas; each of these areas feels the contact of only one point of the object. Just as in the case of the retina, the tactile surface of our skin is not everywhere equally sensitive to touch: the tactile sensitivity is greater on those parts of the skin where these areas are small, such as the lips, or the fingertips. At the present moment I am holding a cigarette with a paper mouthpiece; if I press the tip of this mouthpiece to my lips, I have the sensation of a ring. But if I press it to the skin of my neck or my back, I feel the contact of an object, but cannot determine its form. It is clear that in the first case I receive a concrete sensation of the ring, because I feel many, so to say, separate points lying on the circumference of the ring. In the second case the mouthpiece covers on the neck perhaps one or two areas only,—while on the back it does not cover even one; consequently, I can only feel one or two of all the points of the ring, which is not enough to determine the form of the ring. Let us imagine a body with a more complicated shape, say a star. Your lips and fingertips are capable of feeling this shape also, i. e. they feel all the corners of the star. It is also clear that the parts of the object that are in contact with the most sensitive surface of the skin will be felt more distinctly than the other parts of the object. This also enables us to distinguish the parts of a concrete sensation. If the surface of the object is rough, its outstanding points press on the skin more than the others; again we have the inequality of the separate elements of the sensation, the disintegration of this sensation.

The conditions for the analysis of concrete tactile sensations and the history of the development of this capacity are consequently the same as in the case of optical sensations; the results are also the same, viz. the ideas of the complexity, divisibility and size of bodies. The only difference between the tactile and optical analysis of these attributes of external objects is that sight, in man, is incomparably finer than the sense of touch. Men with normal eyes are directed by their sight much more than by their touch; consequently, the results of optical analysis are incomparably finer and richer.[2]

It is well known that the capacity of the ear to analyse sounds[3] is

---

[1] It is also clear that the laws of association between the separate elements of the optical impression and the impressions from the other senses are the same as those described by us for concrete sensations.

[2] The modifications of the sense of touch that give us our knowledge of the hardness, softness, elasticity and temperature of bodies are not complex and consequently cannot be disintegrated.

[3] This description of the analytical power of the ear from the physiological point of view has been taken from the famous work of Helmholtz «On the sensations of sound».

based on the faculty of this organ to discern separately each tone in a given combination of musical tones. In other words, the ear perceives concrete combinations of sounds and separates the musical tones of which these combinations are composed. This capacity of the ear develops with practice. It is always more strongly developed in musicians. The following are the physical conditions wlich give us this capacity.

In the part of the ear known as the cochlea, the acoustic nerve divides into separate fibres; each of these fibres is connected (the nature of this connection has not been completely ascertained) with an elastic body which might be compared to a piano key. It is generally considered that these sounding «keys», similarly to the strings of an instrument, are tuned in a correct musical order, so that the vibration of each of them corresponds to a definite musical tone. Man is believed to have. 3 000 such keys. Let us suppose that the ear is capable of distinguishing 200 tones in addition to those used in music; for the seven scales, there remains still 2800 separate resonating elements, i. e. for every scale 400, or $33^1/_3$ for each half-tone. It is clear that the ear is capable of distinguishing very small parts of halfatone. It is also clear that the analytical capacity of the ear can go even further than the $^1/_{33}$ part of half a tone. For when a given tone falls between the tones of two neighbouring keys, both begin to vibrate, but the key to which the given tone is nearer vibrates more strongly; the limits of the differentiation of sounds lies, consequently, between $^1/_{33}$ and $^1/_{66}$ of half a tone.

In this way, the concrete impression of a musical chord is explained by the fact that many keys (all those that correspond to the separte tones that compose the chord) are set into vibration simultaneously. The same applies to vowels, which are nothing else than the combination of tones of different frequencies. The conditions for the differentiation by the ear of mixed sounds, noises, and consonants have not yet been determined. It has been suggested that noises, i. e. non-periodical vibrations of the air, stimulate another part of the acoustic nerve lying in extensions of the semicircular canals.

One thing is certain: the analysis of sounds is based on the differences of the nerve-fibres that serve as receivers for the separate elements of the acoustic impression. The mechanism is essentially the same as in the eye.

In one sense, however, acoustical sensations are entirely different to those of sight.

The following example will show this best. If some kind of sound is heard by a person,—say, a musical tone,—this person very easily determines its duration and characterizes this in suitable words, by saying, for instance: «this sound is abrupt, that one is lingering, that other one very long», etc. The sensation of sound, has in general a durable character; we are capable of hearing a sound concretely, and of being at the same time conscious, so to speak, of each separate moment of this sound.. Hearing is an analyzer of time. On the contrary, the organ of sight (in the narrow sense of the word) does not possess this faculty even in the slightest degree. No matter how long a ray of light acts on the organ of sight, there is no durability in the sensation of light itself. In no language can we say, for instance: «the sensation of red, white, or blue light was lingering». When we say that a glan-

ce, like a sound, may be abrupt, or prolonged, long etc., this concerns, not the optical sensation itself, but the muscular apparatus of the eye, that regulates our glance, i. e. it concerns the movement of converging the optical axes upon the object and the adaptation of the eye, which is also a muscular act.

The capacity of the ear to feel the duration of sounds is a necessary condition for the analysis of sounds in time. This analysis is based on the capacity of man to concentrate his attention on the separate phases of the sound, on the consecutive increase and decrease of its intensity, and on the changes of the periods or of the form of its vibrations. Singers possess this capacity to the highest degree. The same capacity lies at the basis of diction: we draw out one syllable more, another one—less, and pronounce the third one abruptly. Even ignorant children possess this capacity. Obviously, this capacity is attained by the same means as the capacity of articulating words in general, i. e. by means of the frequent repetition of a reflex.

The sensations of taste and smell are divisible only to a very limited degree (the different tastes and smells). As for muscular movements, their analysis, in accordance with the very nature of the process, differs considerably from the analysis of concrete optical and acoustical sensations. First example: It is well-known that a person who knows how to sing, knows in advance, i. e. before the formation of the sound, how to place all the muscles that regulate his voice in such a manner as to produce a definite and expected musical tone. He can even «sing» silently, i. e. by moving the corresponding muscles without emitting sounds, any song known to him, reproducing this song, so to say, within his own consciousness. There can be no doubt that this capacity is based on the same analysis of muscular movements in time as the analysis of sound. Another case: We do not need the help of our eyes to feel that we are bending our arm at the elbow. Moreover, we can be conscious of separate phases of this process, e. g. whether the bending takes place slowly, or quickly. And, finally, we always know,—without the help of our eyes,—at what stage our arm has stopped moving. It is clear that man analyses his own muscular movements in space as well as in time. From the given examples, we might conclude that in the analysis of sensations the muscular sense unites in itself the properties both of the eye and of the ear; but on second thought everyone will understand that the muscular sense itself is capable of analyzing its sensations only in time, and even this capacity, as we shall presently see, is developed only with the help of hearing, sight, and the frequent exercise of muscles, i. e. by learning. The muscular sence is, in itself, extremely vague and weak; it is less definite than even the sensations of smell or taste. Hence, in the development of the specific character of this sense,—a character which (if we are to judge by the external manifestations of muscular movement) it already possesses in childhood,—factors, other than muscular sensations, must participate. The following well-known facts prove the inability of the muscular sense to analyse its sensations in space. A great number of anatomically-separate muscles participate in the act of breathing, i. e. in the act of expansion and contraction of the thorax. The concrete sensation produced by the contracting respiratory muscles reaches

our consciousness; but we are unable select, from this general sensation, the element which corresponds to each of the contracting muscles separately.

This applies to every movement produced by groups of muscles. It is a different matter when one of the muscles of a group which had been working up to the present moment simultaneously, i. e. co-ordinately, begins to act separately, and the separate function of this muscle is frequently exercised; then the sensation which is called forth by the contraction of this particular muscle must assume a more and more definite character in our consciousness (let the reader imagine the bending of only one finger of the hand separated from the general act of clenching lhe fist). Thus, the converging of the optical axes of the eyes, being one of the most frequently repeated acts, gives aus almost the clearest af all muscular sensations. After what has been said, it is not hard to understand the nature of the process by means of which we distinguish, in a concrete muscular sensation, the separate muscular sensations of which it is composed, or,—and this is practically the same thing,—the process of separating the function of a single muscle from the combined activity of many muscles: the source of this process lies in the instinctive tendency of the child to imitate what it sees and hears, and the means by which it is developed consists in frequent repetition.

Our examples, (mute singing and the bending the arm at the elbow) are entirely explained from this point of view. The first movement is based on musculo-acoustic, and second one—on musculo-optical associations. The capacity of the muscle to determine relations in space is probably based on the latter.

We conclude that the child, possessing the faculty of instinctive acoustic and optical mimicry, develops, by means of the constant repetition of definite reflexes, the activities of muscles co-ordinated into definite groups. The speech of the child thereby becomes articulate, and all the external movements of its body acquire a definitely intelligent character. Such are the general results of the analysis of muscular sensations.

Let me repeat once more: parts of concrete ideas from all the senses can be associated with each other or with concrete ideas in exactly the same way as concrete ideas are associated with each other, i. e. by means of habitual reflexes. The reader will understand that the number of existing psychical acts is thereby increased a thousandfold.

Now that I have shown the nature of the analytical process, the conditions necessary for it, and the consequences of the analysis of optical, acoustic and other ideas, I must turn to the analysis of complex concrete ideas, i. e. to their subdivision into pure ideas (the process of disassociation). To solve this problem, a few examples are sufficient.

In the act of vision, purely optical sensations are associated with the muscular sensations arising from the contraction of the muscles that move the eyeball and that adjust the eye. The character of these two sensations is extremely different. The purely optical sensation is always completely objective; in other words, though the external objects that act on the eye produce changes in the optical nerves and brain,—i. e. in parts of the human body,—still man is always conscious that these objects are not within his

body, but without. Muscular sensations, on the contrary, are purely subjective; they always reach our consciousness in the form of some kind of effort. To disconnect these two sensations is to be conscious of both sensations separately. It is usually said that this demands attention to both. It is further known that attention can be concentrated more easily on the stronger sensation. Therefore, the only condition necessary for the development of dissociation is that in the complex act of vision, either the optical or the muscular sensation should sometimes be stronger. Such conditions exist. In the daytime, when we are looking at objects which are neither too far nor too near, the optical sensation is in general stronger than the muscular. The opposite is the case when the light is weak and the outlines of objects are indistinct, or when the object lies too close to, or too far from, the eyes. Consequently, the process of analysis of a complicated sensation is also based on the constant repetition of the act of vision under different conditions. This takes place by means of reflexes.

The conception of the roughness of surfaces is optico-tactile. Here again, the analysis of the sensation is achieved by the increase of one element at the expense of the other. Objects with a rough surface come into our hands both in the daytime and in darkness, often quite independent of the eyes. In the last case the tactile impression is so vivid that many people instinctively close their eyes when they wish to feel the touch of an object more clearly.

The analysis of optico-acoustic associations follows undoubtedly the same laws. Here we must remark that in most people,—owing to the conditions in which their senses develop,—acoustic sensations are generally stronger than optical ones. The conversations of the child with its mother, the stories which it hears, and the general fact that in a short time we can hear the names of more objects than can possibly be seen, leads to the strengthening of the acoustic sensations far beyond the optical ones. Therefore, most people usually think in words and not in images, and very many objects are known to us only by hearsay, i. e. are known imperfectly.

In the analysis of associated sensations, man has for the first time to deal with his own self. The separation of all that is personal in his sensations makes man conscious of his own individuality. I shall not attempt to follow the development of this self-consciousness step by step. I shall only show the main elements in its formation, and I shall try to convince the reader that the basis of self-consciousness is nothing other than a complex reflex.

The problem is: how does the child learn to differentiate between the optical, acoustic and tactile sensations which he receives from his own body from those optical, acoustic and tactile sensations which he receives from the external world, and primarily from other people?

Let us begin with vision. The child sees its hand many times a day and as many times the hand of its own mother. To see its hand clearly, the child must hold it at a definite distance from its eyes. This is done by means of a reflex which is acquired by learning. In this way, the child associates the optical sensation of its hand with the sensation of the movement of this hand. In order to see the hand of its mother, the child must perform, not this movement but quite another one; for instance, it must approach its

mother. As long as such associations of different contents are few, the child is unable to distinguish its own hand from that of its mother. But with the increase of the number of associations formed in diverse circumstances, the difference between these associations emerges more sharply; the mind begins to separate two similar objects. The process goes further. The child often sees a toy in the hands of its mother and in its own hands. The first of these sensations is simple; the second one is complex, including also tactile and muscular elements. This happens many thousand times. The two sensations become separated from each other, and the child's own hand appears in its consciousness with a tinge of self-consciousness.

The conditions for distinguishing between your own voice and the voices of other people are very definite, although both sensations are purely personal. Your own voice is inevitably accompanied by muscular sensations that arise in the vocal muscles, while the voices of others are not. Moreover, a sound from the outside reaches the acoustic nerve mainly through the vibration of the ear-drum; weak sounds, for instance, follow exclusively this path. On the other hand, in the case of weak sounds produced by your own voice, the vibration of the bones of the skull participate to a very significant degree in the transmission of the sound to the acoustic nerve, thereby giving a peculiar character to the sound. Consequently, here also the chief and final condition for distinguishing your voice from that of another person consists in the analysis of musculo-acoustical associations. And as the process of disassociation develops by means of repeated reflexes, the basic elements of self-consciousness are the consequences of these acts.

Add to what has been said the myriad of muscular sensations,—always subjective,—which must fill the consciousness of the child,—and you will understand that the psychical act of distinguishing your own self from all that surrounds you must develop in man very early.

The dim, indefinite sensations which accompany the processes that take place in the internal organs of the thorax and abdomen, must also be included among the phenomena of selfconsciousness. Who, for instance, has not experienced the sensations due to hunger, satiation and overeating? Insignificant disturbances of the activity of the heart lead to changes in the character of a person; the nervousness and irritability of women depend nine times out of ten on diseases of the womb. Such facts are very common in human pathology; they clearly point to the association of these hidden sensations with those given by the organs of senses. Unfortunately, the questions here touched upon are very difficult to investigate, and will be satisfactorily solved only in the future. The solution of these questions would be very valuable because the sensations we are speaking of are always present in man, and are therefore repeated more often than other sensations, being thus most powerful factors of the psychical development of man.

The capacity of the sense organs to receive external influences in the form of sensations, to analyze them in space and in time, and to group the whole or a part of them,—such are the only means which direct the psychical development of man. «But where»,—the reader will ask, if he is acquainted with psychological literature,—«where is the process of generalization of ideas, the transition from lower to higher conceptions; where is the combi-

nation into series; and finally, what has become of the products of the so-called co-measurement of psychical acts (comparison) in consciousness?» All these processes are included in what has been already said. Here are a few examples to prove this.

1) «Animal» is a very general conception. People of different degrees of development, have different conceptions of what is an animal. Some say it is that which breathes; for others, the conception of an animal is combined with freedom of movement; still others add sensitivity to movement; not so long ago, naturalists used to think that the simplest, and therefore typical, form of animal (protozoon) is a cell—a small particle constituting the basic element of all tissues of the animal's body. It is clear, therefore, that the various conceptions of the animal, no matter how different they be, have one feature in common: they are all conceptions of some part of the whole organism, i. e. the product of analysis.

2) Generally it is said that «time» is a very general conception, because we feel very little reality in it. This very fact shows that the conception of «time» is based on only one part of a concrete idea. Only sounds and muscular movements give man his idea of time; and this not by their whole content, but by one part only—viz. by the duration of the acoustical and muscular sensation. An object is moving before my eyes. I follow it by moving either my eyes, or my head, or both. In every case, the optical sensation is associated with the continuous lasting sensation of the contracting muscles; to characterize a movement we say: «the movement is lasting like a sound». In the course of all his daily life, man either moves himself, receiving thereby lasting sensations, or sees the movement of external objects,—which comes to the same thing; or, finally, he hears lasting sounds and experiences (tactile and small sensations which also have a durable character). Hence, the day is durable like a sound, and 365 days are durable like a sound, etc. If we separate the sensation of durability from the concrete conception of movement, we shall have the abstract conception of time. Here again, we have the disintegration of a whole into its parts.

3) The conception of «dimension» is ordinarily considered as the product of co-measurement in consciousness of two ideas; the process is supposed to be due to the faculty of comparing and drawing conclusions. The matter, however, can be explained more simply. Our eye analyses concrete optical images a million times, and thereby becomes accustomed to the difference of sensations between the whole and the part in all aspects, and consequently, also to the difference in their dimensions. The child associates these acts with the acoustical sensations that serve as names for these relations, and thus learns to know and to say what is bigger and what is smaller. The idea of the size of the whole and of the part is further developed by the difference in tactile sensations combined with optical. The difference thus becomes perfectly clear. Physiologically, this may be characterized in the following manner. The child has learnt to see the difference between the number of optical areas on the retina which are covered by the impression of the whole object and by only a part of this object. Consequently, the child must also be able to distinguish the size of two separate objects impressed on its retina: the image which occupies the greater space on the retina cor-

responds to the larger object, and vice-versa. The child knows two objects of the same size, and sees—once, twice, ten times, a million times,—that the one of these two equal objects which is further from the eyes always seems smaller. If the idea of their real equality is already strong in the child, the seeming inequality will not deceive it (for instance, a child of four years will not confuse a small girl near it with its tall mother who, at a distance, seems to be of the same height as the girl); in the opposite case, the child will naturally make an error.

An adult judges the size of objects in the same way: he feels consecutively and very distinctly (because of the frequent repetition of the process), the quantity of optical spheres of the retina covered by two impressions. His attention is, as we say, attracted in this case only to one side of the concrete optical sensation; and this is again analysis.

There is no need now to explain the association of abstract conceptions by means of examples. Abstract conceptions are associated as fractions of concrete images.

Finally, to reconcile the reader with the idea that the means of psychical development here described, in spite of their seeming poverty, contain an inexhaustible wealth of psychical development, let me call his attention to the limits of our associations. They begin daily at our awakening and end when we go to sleep. Supposing this period lasts 12 hours a day, and assuming the average duration of one optical sensation to be five seconds, we see that every day more than 8,000 sensations enter the eye, at least as many enter the ear, and incomparably more arise in the contracting muscles. And every day, this mass of psychical acts are combined in a new way, only partly repeating the associations of the day before.

It would be natural now to speak of the relation of a given association (taken as a whole) to each of the external sensory stimuli entering into its composition; but this would be as yet unintelligible for the reader, because he is not acquainted with the phenomena which are usually spoken of as the reproduction in our consciousness of various sensations, i. e. of optic images, sounds, tastes, etc. We shall now occupy ourselves with this question. As is already known, *man possesses the capacity of thinking in images, in words and in other sensations* which have no direct connection with the influences acting on his senses at the moment. Images and sounds, therefore, appear in his consciousness without the actual participation of corresponding external sounds and images; but inasmuch as he has already seen these images and heard these sounds in reality, he is capable of thinking of them without the corresponding external substrata. This is what we call *the capacity of reproducing sensations.*

To solve this problem, we evidently must determine the conditions which make it possible, during the period that passes between the actual reception of the sensation and the moment of its reproduction, to preserve in the nervous apparatus sounds, images and other sensations in a latent state and the conditions that are necessary for the reproduction itself.

The idea that sounds and images are preserved in the nervous apparatus in a latent state is no phantasy: this preservation is so to say, the beginning, of reproduction; indeed, if the actual sensation ended completely with

the removal of the external influence, there would be nothing to reproduce. The reader has already guessed that we are talking of memory, i. e. of the force, the nature of which is unknown to psychologists, and which lies at the basis of all psychical development. Indeed, if this force did not exist, if sensations left no trace, we should feel the millionth repetition of a sensation just as we felt it the first time, there could be no analysis of concrete sensations and their consequences, and psychical development would be impossible. Hence, this force participates in every second, third, etc. elemenratary sensation, from the first minutes of our life. I ought to have mentioned this a long time ago; but for the sake of greater coherence of exposition. I thought it better to put the matter off till it could be dealt with more fully. If I had spoken of memory earlier, I should have found myself obliged to give the reader some preliminary knowledge concerning the relationship between contents, sensations, images and conceptions. A wider study of memory (to which we are now turning) will show the reader how a very pure concrete sensation is connected with similar ones preceding it. It will show him how it then becomes connected with pure sensations from other spheres, and, finally, how the parts of the concrete sensations become connected between themselves. The study of the fundamental conditions of memory is a study of the forces that join each preceding sensation to the following one. The activity of memory embraces, therefore, all psychical reflexes, beginning from the simplest and ending with all the associations that have benn accumulated in the course of the whole day.

What, then, is memory in its simplest, in its most primitive, form?

I shall answer this question by an example. At the moment of its birth a child sees, for instance, a table, and then does not see it for ten minutes; after some time, the table is again before its eyes, and again there comes a more or less considerable interval; finally the child falls asleep for the night. The same is repeated next day. It might seem that the child sees the objecte, every day and even every time, just as it did at first sight. But the positive experience of centuries shows the opposite; the sensation becomes clearer and clearer. It is obvious that the change produced in the nervous apparatus by every repetition of the influence becomes deeper and deeper and is retained, between two successive repetitions of the influence, for a more or less considerable time. This property of the nervous apparatus must be inborn and therefore lies in the material organization of this apparatus.

Is there any sign of this property in the physiology of nerves? There is, and this property has been studied chiefly on the optical and motor nerves. It can be formulated in the following manner (I shall speak only of the optical nerve): even a very brief stimulation of the optical nerve by light always leaves behind it a noticeable trace, prolonging the sensation for a more or less considerable time, according to the duration and strength of the stimulation[1]. In the case of ordinary excitations, i. e.of excitations of average intensity and duration, the after-effects of light («Nachbilder» of Ger-

[1] The reader who is interested in this question can find details in any German textbook on physiology in the chapter dealing with the physiology of the eye. The best exposition is given in the famous work on physiological optics by Helmholtz, the greatest physiologist of the nineteenth century.

man authors) can be felt for only a few minutes. In the child, between the last optical impression of one day and the first one of the following day, there pass many hours of optical rest. It might seem, therefore, that the after-effects of light cannot play any rôle in the solution of our problem; but such a conclusion would in reality be premature. Let me remind the reader that from the time of the appearance of man on earth to the first half of the nineteenth century (i. e. to the first work of Pourquigné on the after-effects of light), these after-effects were constantly present in human eyes; nevertheless, they were never noticed during many thousand years. Hence, we conclude that the absence of clear sensations (in our case of the after-effects of light) does not prove that the excitation of a nerve ends with the disappearance of the sensations that accompany it. Theoretically it should last very long, decreasing gradually to nothing. It is wrong to say that one or two drops of water do not change a stone, for one drop afret another finally wear away the stone. But let us return to the eye; I want to give a most surprising example of how its defects may be corrected by influences, each of which, when taken separately, is infinitesimal, but the consequences of which are very great if they are repeated many times. It is known, that myopia can be more or less corrected, by making a person look for a long time at objects that are gradually placed at a greater and greater distance. On the other hand, every one knows that a person who always works with small objects becomes shortsighted. In these cases, in spite of the fact that the eyes are at rest during the night, and that during the day there are more or less considerable intervals between the separate acts of looking, every-one of these acts causes a change in the eye which does not disappear before the following act. But who can determine the size of each such change?

Hence, there is nothing improbable in the supposition that the after-effects of light (traces left by the light) do not disappear with the end of the subjective sensation.

The fact that the frequent repetition of the same optical sensations gradually makes these sensations clearer has been shown by direct experiments, although the nature of this improvement of our sight remains a puzzle. It has, for instance, been found, that by means of exercise, the capacity of the eye to see separately two closely-lying points or lines increases to considerable degree. This capacity enables us to see in two dimensions, if. e. *to see flat objects.* It is noteworthy that the eye of the adult person is perfected by exercise incomparably faster than it loses what it has attained when the exercise ceases. It takes hours to learn, and days to forget. Here again we observe the capacity of the optical apparatus for preserving sensations in a latent form.

Now if it is possible to explain the preservation of sensations in a latent form during one night, it is equally possible to explain their preservation during many years. Indeed, what objects does the child remember? Only those that appear often before him. If his mother dies he will soon forget even her. But how,—the reader will ask me,—can a grown-up person, after meeting another person only once, and that only for a few hours, remember this other person at a second meeting even ten years later? It would seem there can be no talk of the preservation of after-

effects in this case; but in reality this preservation is present even here, as the reader will presently see. A grown-up person who meets another person even for a short time receives from that other person a myriad of diverse sensations: his movements, features, pose, gait, manner of speaking, the sound of his voice, the subject of the conversation, etc., remain fixed in the memory for a more or less considerable time, depending on the strength of the impression; sooner or later, the traces of the impression begin to weaken. But one day another person is met who produces separate sensation similar to those produced by the first person, and the memory of the latter is refreshed, just as if the old sensation were once more experienced.

If this is repeated from time to time, the traces of the old impression do not disappear. In the child, these conditions, even if they exist at all, are present only in the weakest degree.

We see from the above that the frequent repetition of a sensation or reflex makes this sensation clearer, and that it becomes thereby more firmly preserved in the nervous system in a latent state: the latent trace will be preserved for a longer and longer time, it becomes more and more difficult to forget the sensation.

It is upon these properties that the improvement of the functions of the optical apparatus is based. Indeed, if the latent trace of a sensation is strong and durable, the most insignificant external hint is sufficient to awaken it in our consciousness. We know this from our daily experience; and we come to the conclusion that the optical apparatus which has been exercised in one direction for a long time will respond with the customary excitation to the most insignificant stimulus.

What has been said of concrete optical sensations unquestionably holds true good their elements, i. e. for the separate sensations obtained by means of the disintegration of the concrete sensation. (The reader will remember that the nature of separate sensations is identical to that of concrete sensations).

Owing to the preservation of sensations in a latent state, the memory of a vivid sensation is stronger than that of a weak one; in addition, the more recent the sensation, the stronger the reminiscence. Both facts are completely explained from the point of view of the capacity of the optical nerve to preserve the after-effects of light. If we study only the beginning of the after-effect of light, i. e. the period when the after-effect still has the character of an actual sensation, it is not difficult to note that the intensity of the after-effect grows with the increase of the external influence. The same result is obtained by increasing the duration of the stimulation without changing its strength. It is easy to note that the after-effect is strongest immediately after the cessation of the stimulation on the retina by light, and decreases gradually from that moment. The resemblance of these phenomena to those of memory is another proof that memory, as a property of the sensory apparatus, is really based on the above-described capacity of the nerve to change under the action of external stimulation.

But why,—the reader will ask me,—is the reproduction of an optical sensation similar to the sensation itself, i. e. why does the green colour re-

main green in our memory, a circle round, a triangle—triangular, etc.? It is not difficult to answer this question. The sensation of a circle or a triangle arises, as the reader already knows, because the separate points of the circle or triangle excite simultaneously a number of separate nerve fibres. Hence, it is only necessary that the excitation should be preserved in all these fibres; and this is actually so, owing to the physiological law according to which the excitation of an active fibre does not pass over to the inactive neighbouring fibres. No matter what physiological view is held by the reader as to the nature of colour-vision (i. e. no matter whether he accepts that the stimulation of the retina by different colours calls forth different nervous processes in the nerve-fibres, or that the excitation produced by every colour is conducted along separate fibres),—the after-effects of light are only a prolongation of the actual optical excitation, though in a considerably weakened degree.

But this leads to a new question. Every day, thousands of optical images fall upon the most sensitive spot of the retina. If all these images are preserved in a latent form, this should lead to an incredible confusion in our memory. How is this confusion avoided? Only a general answer can be given. Suppose I have seen to-day a green colour 3 000 times, a blue colour 500 times and a yellow colour 25 times. There can be no doubt that to-morrow there will remain a deep trace only of the green colour. To-morrow some other colour in its turn will perhaps leave a deeper trace; but the trace of the green colour also will not remain without change. And though a child of two still distinguishes colours badly, it is already acquainted with the whole rainbow, i. e. its eyes already feel even the slightest tinge of any of the seven colours of Newton. The same can be said of outlines and forms.

We thus come to the conclusion that in *the case of purely optical sensations, the link that connects separate identical sensations is the trace left by them; this is true both of complex sensations and of their fractional elements. The same can be said of the connection of a concrete image with* the fraction of an image, inasmuchasthese two optical phases of the same act are repeated together.

The presence of after-effects in the sphere of tactile sensations can be demonstrated by putting a finger on a rotating wheel; the separate contacts of the teeth with the finger are blended into one single sensation. The development of the sense of touch in blind people is a direct result of the existence of these after-affects. Consequently, the conditions for the development of tactile and visual memory are the same.

The existence of after-effects of muscular sensations can be shown only indirectly. It should be remembered that muscular sensation always accompanies the contraction of muscles. If we hang up a decapitated frog and pinch on of its toes, it will pull its leg away, performing a flexion in all joints. When the movement is ended, and the leg is again hanging down, it is easy to notice that all the joints remain slightly bent, expecially the joint between the leg and the foot; this residuary flexion dissappears gradually in the course of a half an hour. This shows most convincingly that the whole reflex from the skin to the muscles is preserved in the spinal cord as a trace.

Every one knows the after-effects of tastes and smells.

Only the auditory memory seems to be an exception. Acoustical sensations do not leave such clear traces as optical ones. Indeed, it is because of this property that we can follow the most rapid changes of sound, i. e. analyse these changes in time. But in spite of this absence of noticeable after-effects, it is inevitable that the acoustical nerve, after having undergone a certain change under the influence of a sound, should, like any other body in the world, remain changed for a longer or shorter period. Hence, here also we have the conditions necessary for the summation of repeated sound effects. On the other hand, acoustical sensations have this important superiority over other sensations that in early childhood they are closely associated with the muscular sensations which arise in our chest, throat, tongue, and lips when we speak. Owing to this, acoustical memory is strengthened by tactile memory. A small child cannot think without speaking. In children of five years, thought is expressed by words or whispers, or at least by the movement of lips and tongue. The same often happens (perhaps even always, though not in the same degree) in adult people. I know from self-observation that thought is often accompanied by mute speech, when the mouth remains closed and does not move, and only the tongue moves within the oral cavity. Whenever I wish to accentuate some thought primarily before others, I whisper it. It seems to me even that I never think in words, but always in those muscular sensations which accompany my thought when it is spoken. In any case, I cannot sing the sounds of a song directly in my mind but I always sing it with the muscles; only then the sounds arise in my memory.

Even the parrot possesses acoustical memory; consequently, there can be nothing specifically human in this property. Moreover, it is impossible to imagine that the acoustical nerve does not preserve traces of sounds.

The rôle of these traces is essentially the same as in the case of optical sensations. The trace connects preceding sensations with similar succeeding ones, and joins consecutive parts of a whole together, if those parts are always repeated in the same order, forming two analytical phases of one and the same acoustic sensation. This is the source of the memory for words, syllables, and combinations of words and syllables.

Optical and purely-tactile memory can be named memory of space. Acoustic memory can be named memory of time.

The reader will remember that the conceptions of space and time, inasmuch as they are based on images of reality, are the product of the analysis of concrete optico-tactile and musculo-acustic sensations.

We must now show how associated sensations are blended into a whole.

The first condition for this blending is already known to the reader: the association is ordinarily a series of consecutive reflexes in which the end of each preceding reflex coincides with the beginning of the next one. The second condition, also known to the reader, is the frequent repetition of the association in a definite direction. Let us now examine the process more deeply.

An association is, as we have said, an uninterrupted series of contacts of the end of every preceding reflex with the beginning of the following one. The end of a reflex is always a movement; and a movement is always accompanied by muscular sensations. Therefore, if we regard the association as a series

of central activities, we may define it as an unbroken series of sensations. Indeed, the middle members of every two consecutive reflexes (i. e. the sensations,—optical, acoustic, etc.), are separated from each other only by movements; and the movements are in their turn accompanied by sensations. Consequently, an association are a sensation quite as much as any purely optical or purely acoustical sensation; only it usually lasts longer, and its character constantly changes. It is clear that the laws of memory must be the same for associations as, say, for the concrete purely acoustic sensation or its elements. Being often repeated, and leaving each time a trace in the form of an association, the complex sensation must become differenciated as a separate whole. But at the same time there also takes place a differentiation of the separate elements that enter into the association; the frequent repetition of the complete association in connection with one of its parts discloses the dependence of the former on the latter (the isolation of the parts of a complex sensation). As a result of this process, even the smallest hint at a part of an association leads to the reproduction of the entire association. If, for instance, we are given a definite optico-acoustico-tactile association, *the smallest external hint at one part of it*, (i. e. the weakest excitation of an optical, acoustic, or tactile nerve by any form or sound contained in this association) *leads to the reproduction of the entire association in consciousness.* This phenomenon is met at every step in the conscious life of man, not only in the association of sensations, i. e. in complete images, but also in the formation of series of complete images and conceptions (fractions of images). The adult person is capable of distinguishing cases when the external sensory excitation calls forth in him one corresponding association or idea, from those cases when it calls forth a consecutive series of associations or ideas. The first takes place when an object stands before the eyes of a person who is in deep thought, and this object has no relation to what the person is thinking about. Without actually seeing the object, the person has an indistinct feeling of its presence. Sometimes, under such conditions, the sensation is so clear that the person even sees the form of the object. Finally, in those cases when an external object calls forth a thought, we obviously have the reproduction of an association.

In the sphere of optical sensations, there are facts which prove with surprising clearness the law of the reproduction of combined associations which we have developed. These facts also show very clearly the great psychological importance of the combination of sensations. These two circumstances compel me to describe one of these examples in detail.

It is known that the impression of an object on the retina decreases with the increase of the distance from the object to the eye, and vice versa. It therefore often happens that the impression of a small object situated very close to the eyes occupies a greater surface on the retina than that of a large but distant object. A finger held close to the eye appears higher than a church in the distance. The adult person is not deceived by this: he knows by experience that a church is always higher than himself; on the basis of his experience, *he draws correct conclusions* as to the height of the objects which he compares. It might seem, therefore, that the conception of the size of objects situated at various distance from the eyes must be the result of deliberation;

but the following simple experiment shows that just the opposite is the case in reality. In a dark room lit by one candle, close both eyes for several minutes; then open one of them and look attentively for two or three seconds at the candle. If you close the eye once more, the image of the candle will linger for some time in the darkened field of vision; this is an optical after-effect. Now try, while the image is still present, to imagine,—still with closed eyes,—that you are looking close before you; the image will grow smaller. Look far away into the distance,—and the image will spread. Here is the explanation of this phenomenon: our direct conception of the size of every object seen by one eye is based on the actual size of the impression produced by this object on the retina and on the degree of contraction of the muscles that accommodate the eye to seeing in the distance. If the second factor changes while the first remains constant (as in our example), the image produced by the combination of both sensations (the optico-muscular association) must also change. In the course of our lives, the optical-muscular association mentioned in our example is always repeated in the following order: when two objects are situated at different distances from the eyes, but the size of the impressions produced by them on the retina is the same, to look at the distant object (i. e. the larger one) we must adapt our eyes to distance, while to look at the nearer object (i .e. the smaller one) we must adapt our eyes to close vision. It is owing to this association (conception of size) that in the above experiment, the object seems large when we accomodate our eyes to seeing in the distance, and small when we accommodate it to close vision.

I shall now give another interesting example, this time from the sphere of cutaneous sensations.

It is known that the feeling of cold often calls forth in people the so-called «goose-skin», i. e. the contraction of very small muscles in the skin. This phenomenon is undoubtedly reflex, and as such it is entirely involuntary, though it is complicated by the conscious feeling of cold: nevertheless, I know a gentleman who is capable of calling forth in himself goose-skin even in a warm room, simply by imagining that it is cold. In this interesting example, imagination produces the same effect as actual sensory stimulation. What, then, is the nature of the process by means of which psychical formations are reproduced in memory? This process is essentially the same as in the case of any sharp psychical formation called forth by the action of an external agent upon the organs of sense; in other words, it is also a process of excitation of central nervous mechanisms. I assert, consequently, that from the point of view of the phenomena that take place in the central nervous system, it is immaterial whether I actually see a man before me, or merely remember him. The only difference is that among the many sensations which are produced in me by the actual presence of a man, the optical sensations are expecially sharp and clear, because my optical attention is supported by the optical stimuli (N. B.: if the person says exceptionally curious things I shall hear him better than see; the reasons for this will be given in the section on emotions). When I do not see a man, and only remember him, the first stimulus that brings him back to my memory is generally the action upon me at the given moment of one of the external stimuli which were acting upon

me at the moment of my encounter with that man. This stimulus calls forth all the complex of sensations which was produced in me by this man and which is preserved in my central nervous system in the form of traces. The figure of this man, his words, the movements of his face or hands, etc. arise in turn in my consciousness. It is often difficult to determine which of these images is the strongest, because our attention cannot dwell on any single feature long enough. It is common knowledge, however, that a man with a striking appearance and ordinary voice is more easily remembered in images than in sounds, and vice versa. The reason is that the intensity of latent traces depends entirely upon the intensity of the corresponding actual impressions.

I repeat once more: *as far as the process is concerned, there is not the slightest difference between an actual impression (including its consequences) and the memory of this impression.* We have the same psychical reflex in both cases, with the same psychical content; only the stimuli which arouse them are different. *I see a man* because his image is actually pictured on my retina; *I remember* him because my eye has caught the image of the door near which he stood.

The reader now understands the importance of the frequent repetition of one and the same act for psychical development. Repetition is the mother of learning, i. e. of the definition of psychical formations.

The law of latent traces, together with the fact that muscular movements are acquired by means of learning, help to explain the phenomenon which we have called the instinctive «aping» of the child under the control of sight and hearing. The process by which a child learns the names of things may serve as illustration. The reader knows that the child possesses reflexes from the eye and ear to the voice: it screams when it sees or hears something. The latent traces which these reflexes leave in the child are optico-musculo-acoustic in the first case, and acoustico-musculo-acoustic in the second. In the second of these associations, the differentiation of the acoustic components of the association is especially rapid when the sound produced by the child is similar to the external sound. This similarity is itself a condition for the differentiation of the acoustic members of the association. The child hears the mooing of a cow and emits sounds. But in these sounds (meaningsless though they may seem), and, consequently, in the latent trace which rem ains after them, there are acoustic elements similar to the mooing of the cow,,—«moo». In the course of the repetition of the acoustico-musculo-acoustic association, this association becomes gradually clearer and clearer; at the same time there takes place a fixation in memory of those positions of the vocal apparatus which are necessary to reproduce the corresponding external sounds. For this reason, the development of an association is especially rapid if the acoustic components of this association are alike.

We see therefore, that it is quite natural that a child should say «moo», when it sees a cow, i. e. that is should imitate what it hears and should at the same time learn the names of things. The child learns the names of inanimate objects that produce no sounds in exactly the same way: the mother or nurse associates in the mind of the child the optical image of an object with a sound, and this association must be renewed in the mind of the chid

hundreds and thousands of times in order that the extreme members of the acoustico-musculo-acoustic association should become fully differentiated, i. e. in order that the child should be able to pronounce the name of the object.

There is no need to give a special illustration of the optical mimicry of the child and its consequences. Let me only point out that the whole matter lies in the differentiation of the optical components of the optico-musculo-optical association of the child.

The theory of latent traces has made clear to the reader those aspects of psychical development which were previously obscure to him, viz. the differentiation of sensations, images, etc. through their repetition, and the learning of muscular movements.

In conclusion, I ask the reader to turn his attention to the following aspect of the reproduction of impressions in memory.

It was said above that the end of every complete psychical reflex is a muscular movement, and as such is necessarily accompanied by muscular sensations; the trace of this complete reflex, being a latent sensation, includes the beginning, the continuation and the end of the whole act. From this it follows that the whole act is differentiated in our consciousness as an integral whole. But at the same time, the analysis of the associated sensations, ideas etc. leads to the differentiation of the separate elements of the whole act,—its beginning, continuation, and end. We thereby become conscious of the complexity of the act, of the dependence of movements upon ideas. Later on, when we turn to the study of the act of thinking, we shall have occasion to speak of these relations between the different components of the psychical reflex.

For the present, I believe I am entitled to summarize all that has been said in the following general formula:

All psychical act without exception, if they are not complicated by elements of emotion (with these we shall deal later) *are developed by means of reflexes. Hence, all conscious movements (usually called voluntary), inasmuch as they arise from these acts, are reflex, in the strictest sense of this word.*

The question whether voluntary movements are really based on the stimulation of sensory nerves is thereby answered affirmatively. It also becomes clear why, in the case of voluntary movements, this sensory stimulus is often unnoticeable.

The various reasons for this may be reduced to the following main ones:

1) very frequently (if not always), some indistinct muscular, olfactory or other component is added to an association, which in all other respects is perfectly clear,—for instance, an optico-acoustic association. The essential association is then so vivid that this addition to it is hardly noticed, or even not noticed at all. Nevertheless, it exists, and it is sufficient that it should appear in our consciousness for a brief moment, to call forth the corresponding optico-acoustic combination. Here is an example: I devote my daytime to physiology; but in the evening, while going to bed, it is my habit to think of politics. It happens, of course, that among other political matters I sometimes think of the Emperor of China. This acoustic trace becomes associated with the various sensations (muscular, tactile, thermic, etc.) which I

experience when lying in bed. It may happen, one day, that owing to fatigue or to the absence of work I lie down on my bed in the daytime; and lo! all of a sudden I notice that I am thinking of the Emperor of China. People usually say that there is no particular cause for such a visitation; but we see that in the given case it was called forth by the sensations of lying in bed; and now that I have written this example, I shall associate the Emperor of China with more vivid sensations, and he will become my frequent guest.

2) A series of logically connected thoughts may be associated with some idea that has absolutely no logical relation to them. And though it might seem strange to deduct that particular series of thoughts from this idea, it is nevertheless this idea that calls forth the whole series.

3) A chain of combined ideas sometimes lingers long in our consciousness. It was said above that such a chain may last a whole day, beginning with our awakening in the morning and ending when we go to sleep at night. In such cases, we sometimes find it very difficult to remember just what particular impulse has called forth a given chain of thoughts.

Nevertheless, attentive self-observation makes it possible to determine this external influence in the majority of cases.

§ 12. I shall now turn to the second question. Does the mechanism of inhibition which is already known to us from our study play any rôle in the origin of voluntary movements? Since we have identified voluntary movements with reflexes, there is nothing irrelevant in this question.

Are there any phenomena in the conscious life of man which point to the inhibition of movements? These phenomena are so numerous and so characteristic that it is because of them that people call those movements which are performed with full consciousness, voluntary movements. Indeed, upon what is the common conception of such movements based? It is based on the fact, that under the influence of definite external and moral conditions, man can perform a certain series of movements, or can fail to do so, or finally, can perform movements of an entirely opposite character. People with a strong will may triumph over apparently irresistible involuntary movements; for example, one man will endure severe pain silently and without the slightest movement, while another one will scream and writhe. There are even men who can endure pain, performing at the same time movements which are entirely incongruous with pain, such as joking and laughing.

Consequently, even such movements which are generally called involuntary can be inhibited.

In the first chapter of this book, when discussing the origin of those involuntary movements which we perform when we are expecting some sensory stimulus, I said that these movements are best explained by assuming that there exists a special mechanism which inhibits the activity of the reflex apparatus. Experiments were also mentioned which make the presence of such mechanisms unquestionable in the brain of the frog and highly probable in the brain of man.

We must now prove this hypothesis in relation to voluntary movements.

Let us then a priori accept that in the brain of man there exist mechanisms which inhibit muscular movements. But why,—the reader will

ask,—is the activity of these mechanisms so unequally expressed in different people? If the inhibition of movements is an organic feature common to all people, it would seem that this phenomenon should not present such considerable variations, as, for instance, in the case of a weak nervous woman and that of an extreme stoic; besides, it should also be present in the child. The fact is that inhibition does exist in all cases, but we must learn to inhibit movements just as much as we learn to perform these movements. No one will doubt that the new-born child possesses all the nervous centre which later regulate the acts of walking, speaking, etc.; and yet, these acts also must be learned.

So let us now see how the child learns to inhibit movements, or,—to put it more exactly,—to inhibit the last member of a reflex.

Childhood is characterised by an exceptionally wide irradiation of reflex movements in response to such external sensory stimuli, which, when applied to an adult, would call forth a relatively weak response; thus, the reflexes from the eye and ear can spread in the child to nearly all the muscles of the body. However, there comes a time, when movements become, so to say, «grouped». One or two muscles, or a whole group of them, begin to function separately from the mass of other muscles; the expansion of movements is thereby limited, and every movement obtains a definite character. It is in this process that the inhibitory mechanisms take part. Let us take a simple case: the change from the flexion of all the fingers of the hand to the separate flexion of one finger. Supposing that the flexion of all fingers at once is the result of certain fundamental properties of the very organisation of the child (and there can be no doubt that this is really so),—it is obvious that the isolated movement of one finger can be achieved only by inhibiting the movement of all other fingers. There can be no other explanation. How does this inhibition arise? It might be possible that the bending of the fingers is prevented by the activity of the muscles that act in the opposite direction, i. e. by the contraction of the extensors. This suggestion seems very plausible at the first glance. Indeed, to prevent the movement of the other four fingers, the smallest preponderance of the contraction of their extensors over that of their flexors would be sufficient. This preponderance should, of course, be accompanied by muscular sensations, because, after all, this immobility is the result of the antagonism of two systems of muscles; but the sensation might be very weak and remain unnoticed in comparison to the vivid muscular sensations from the bent finger. In this way, the matter would be explained without the participation of special inhibitory mechanisms and would be reduced to the activity of antagonistic muscles. However, this explanation alone is not sufficient. Let us suppose that the flexion of all fingers at once is brought about by some very powerful cause. In that case, the flexion of one finger would be accompanied by a very strong tendency to bend the other four, and only a very strong activity of the antagonistic muscles could prevent their movement. The isolated flexion of one finger would therefore be accompanied by an extremely sharp muscular sensation in the other fingers. Now this never happens: a man with an ideally strong will can endure pain with perfect outward composure, i. e. without the contraction of muscles.

Consequently, without denying that movements can be prevented by the contraction of antagonistic muscles, and even accepting that this mechanism often takes part in the prevention of conscious movements,—it is necessary, nevertheless, to admit the participation, at least in some cases, of a mechanism which acts upon reflex movements in the same way as the vagus nerve acts upon the heart; in other words, it is necessary to admit the existence of an activity which paralyses the muscles.

It follows from this that a psychical act has the nature of a reflex even if it remains without external manifestation. If we accept the idea that movements are prevented by the activity of antagonistic muscles, then the end of the act must be a pure muscular movement. If, on the other hand, we accept the other explanation, the end of the reflex is an act completely equivalent to the excitation of the motor apparatus, i. e. the motor nerve and its muscle.

As for the history of development of the capacity to prevent the end of reflexes, the first case agrees entirely in this respect with the history of development of grouped muscular movements in general, and the tremendous difference in the external expression of both phenomena (the production of movements and their prevention) is due merely to the participation in the movement of different muscles. The capacity to prevent movements begins with the instinctive mimicry of the child; it is controlled by muscular sensations and their analysis; and it is acquired by means of frequent repetition. When the child has already learned to use its muscles, i. e. when it walks and speaks (and is, consequently, able to understand what is said to it), the education of the capacity to prevent movements continues by means of the development, in the mind of the child, of the following type of associated conceptions: «Do not do this or that, otherwise this or that will happen.» For the edification of the child, these admonitions are often accompanied by the infliction of physical pain; this burdens terribly the future of the child: under such a system of education, the morality of the motive,—which should alone direct the activities of the child,—is concealed by the much stronger feeling of fear, and in this way the sorrowful morale of fear is brougt in the world.

The development of the capacity to paralyse movements (let the reader not forget that in relation to man this capacity is a mere hypothesis) is very obscure; our only guide in this matter is the sensation which accompanies the immobility of the muscles. To understand this better, the reader should perform the following experiment on his own respiration: after an exhalation, let him retard the subsequent involuntary inspiratory movement. At first, he will not feel anything definite (he is only indirectly aware that his muscles are at rest); then he feels something which forces him to breathe, but this feeling is not located in his muscles.

There can be no doubt that in this example the inhibition of movement takes place without any active muscular contraction whatever, and can be explained only by the activity of an apparatus which paralyses the involuntary movements of respiration. This example also shows the weakness of the muscular sensations accompanying the inhibition of movements. This circumstance explains why teachers are not able to develop in pupils

the power to paralyse the external manifestations of their psychical activity. For the same reason, this power is very rarely well developed, and its presence in a person is spoken of as a freak of nature. Among the other means of developing this power, the frequent repetition of the act is especially important, just as in learning any kind of muscular movement. The present Emperor of France is said to be capable of hiding his internal impulses to the point of inscrutability, and it is added that he has attained this by the unwearying study of his face in the mirror. However, I have obtained a still better proof of this on dogs. But to make myself clear I must first say a few words about the way in which the cerebral mechanisms that inhibit reflexes are aroused to activity. In the frog (where the presence of these mechanisms in the brain has been demonstrated beyond doubt), their activity is aroused (i. e. an inhibition of reflexes is produced), by every strong stimulation of the sensory nerves. The same probably takes place when the stimulation is weak, but the effect in this case is so small that it cannot be discovered by our rough methods. Consequently, the mechanisms that inhibit movements are stimulated by means of reflexes.

We must accept the existence of similar mechanisms in man as a logical necessity; and having accepted them, we must also accept that they are stimulated by means of reflexes. From this it follows, that in general, if a man or an animal is often subjected to sharp external influences acting on the organs of senses, there are many chances that such a person or animal will develop the capacity to resist these influences.

Our simple folk lead a life of toil and privations, and are known to endure terrible pain quietly and naturally, i. e. without complicating the process by emotion. This so-called «coarseness» of the nerves is explained by what has been said above. It is also natural that the usual education of the children of the so-called intellectual class makes this coarseness of nerves unattainable for the adults of this class.

The following example proves this point even better.

It is often my sad duty, as a physiologist, to conduct experiments on live animals; in the course of these experiments I have seen real heroes among plebeian dogs. These dogs are accustomed to live anywhere and feed on goodness knows what; even the strongest pain will draw from them no more than a sigh. It is quite different with parlour dogs, and especially ladies' lapdogs; and as dogs are perfectly natural, this speaks for itself.

Therefore, *man learns, through the repetition of associated reflexes, not merely to group his movements, but also to inhibit them* (this is also achieved by means of reflexes). Such is the origin of the immense sphere of psychical phenomena in which our thoughts, intentions, wishes, etc. remain, as we say, without external expression.

Let us now show the reader the first and greatest advantage which man gains by learning to inhibit the last member of his reflexes. He thereby acquires *the capacity to think, deliberate, and judge.* For what is, indeed, the act of deliberation? It is a consecutive series of connected ideas and conceptions that exist in our consciousness at a given time, and that receive no expression in external acts. Now, a psychical act, as the reader already knows, cannot appear in consciousness without an external sensory stimulation.

Consequently, our thoughts are also subject to this law; therefore, in a thought, we have both the beginning of a reflex, and its continuation; only the end of the reflex (i. e. the movement) is apparently absent.

Athought is the first two thirds of a psychical reflex. The following example explains this very well.

At the present moment I am thinking (quietly and without the slightest movement): «the bell on the table before me has the form of a bottle; it is cold and hard to the touch, and if you shake it, it rings». This is a thought just like any other one. Let us analyze the chief phases in the development of this thought from childhood.

When I was about one year old, the same bell produced the following reactions in me: looking at it and taking it into my hands at the same time, or just taking it without looking, I moved my hands and feet and the bell rang. This pleased me and increased my movements. The psychical side of the whole phenomenon formed an associated image in which optical, acoustic, tactile, muscular and thermic sensations were blended.

At the age of two, I stood on my feet, shook the bell in my hand, smiled and said «dinn-dinn». At this stage, the reflex includes, not all the muscles of the body, but merely the muscles of speech. The psychical side of the act has made considerable progress: the child knows the bell by its form alone, as well as by sound or touch. It is even acquainted with the feeling of cold. All this is the result of analysis.

The development of the child continues: it has fully acquired the capacity to inhibit reflexes; at the same time, its interest in the bell has decreased (I have already pointed out that nerves are dulled by too frequent repetition). The time comes, when the child will ring the bell without even a smile. Now it is able to express the thought with which I began my example in words. And when a thought is expressed in words, the reflex is limited to the muscles of speech.

Even at this age, the child can, by means of musculo-acoustic disassociation, separate in its consciousness the acoustic sensations of the words that compose a thought, from the corresponding movements of the muscles of speech. Moreover, it is already capable of inhibiting speech. It is clear that even a child can think about a bell silently.

Consequently, when we say that thought is the reproduction of reality, i. e. of real past impressions, this applies not only to the development of the process of thinking from childhood, but also to every separate thought, if it is repeated without change,—be it even for the millionth time; for, as the reader already knows, the nature of the process is the same both in the case of actual impressions and in that of their reproduction in memory.

Thought is subjective to the highest degree. To understand the cause of this we must recall the development of thought. The sensations from all spheres of senses are themselves subjective to a certain degree; indeed, even our optical and tactile sensations which are known to be completely objective at the moment of their origin, can become perfectly subjective in thought; thus, most people think of tactile and optical pictures in words, i. e. they change purely objective sensations into subjective thoughts (by means of optico-tacto-acoustic disassociation). Our optical and tactile sensations

are never so vivid in thought as in reality, not even when we think in images. The reason for this is, of course, that the optical and tactile sensations become associated with others; therefore there is no reason why our attention should concentrate on optical, and not on acoustic sensations. It is different when the eye or the hand meets an external object; for then there is sufficient cause for attracting attention in this direction. It follows that thinking in images does not make our thoughts less subjective.

Now that all the properties of thought have been explained, the reader will easily understand how we learn to mentally separate our thoughts from the external acts to which they lead. In every man, a given sensory stimulation will in one case call forth both thought and act; another time, the act may be inhibited, and the thought seems to be the only response; a third time, the thought is again followed by activity, but the act is not the same one as the first time. This necessarily leads to the separation of thought, as something concrete, from activity which also appears in a concrete form. It is generally accepted that if one act follows another, the two acts stand in causal relationship (post hoc—ergo propter hoc); *this is why thought is generally believed to be the cause of behaviour;* and when the external sensory stimulus remains unnoticed,—which happens quite frequently,—*thought is even accepted as the initial cause of behaviour.* Add to this the extremely subjective character of thought, and you will understand how firmly man must believe in the voice of self-consciousness, when it tells him such things. In reality, however, this voice tells him the greatest of falsehoods: *the initial cause of all behaviour always lies, not in thought, but in external sensory stimulation, without which no thought is possible.*

The fact that one and the same man seems to be able to express one and the same thought by means of different acts, is another source of error. A person under the influence of some thought can deliberate on the form of his behaviour and choose one of many possible forms of conduct. This means that when a man is subjected to the action of certain external and internal conditions, there appears in him the central member of a psychical reflex, and to this central member is added (also in the form of a thought) the imagination of a possible end of the reflex. (N. B.: For the sake of brevity, I shall in future name «psychical reflex» every complete act of conscious life). If, in the past, a middle member has had several ends because the reflex was produced in different external conditions, it is natural that these several ends should appear in imagination one after another. I shall explain later what inevitable motives dictate the choice of a definite end of the reflex.

Consequently, we have answered our second question also in the affirmative: *there exist many psychical reflexes, the last member of which (i. e. the movement) is inhibited.*

§ 13. I shall now turn to the third (and last) section of our study of the acts of conscious life, i. e. to those psychical acts, the end of which is augmented. The phenomena belonging to this section embrace the whole sphere of emotions or passions.

Here, we shall attempt to show the reader that emotions are, by nature, augmented reflexes.

It was said in the chapter on involuntary movements that the origin of passion lies in the elementary sensuous pleasures of the child. The view of a brightly coloured object, the sound of a bell, etc. calls forth in him an incommensurably wide irradiation of reflex movements. This state of excitement over one and the same object does not, however, last long. A child of three or four is no longer amused by all brightly coloured objects, but it loves a coloured picture, a gaudily dressed doll, it listens eagerly to stories of every kind of splendour, etc. It is clear that in the course of the development of concrete imagery, the pleasant sensations experienced under the influence of the properties of separate pictures become blended with the whole picture, and the child is now amused by complete images, forms or series of sounds. In this way, the whole picture acquires an emotional character. Attachment to the mother or to the nurse has the same source; the image of the mother or nurse is always associated with pleasure in all spheres of the senses, and especially, of course, with the pleasure of eating. There is much truth in the assertion that children are egoists.

Desire appears together with the development of emotional psychical formations. For example, the child loves the image of a burning candle, and has seen many times how it is lighted with a match. A series of images and sounds preceding the lighting of the candle are associated in its mind. Suppose the child is absolutely quiet; suddenly, it hears the scrubbing of a match; this is immediately followed by screams of delight, hands extended to the match etc. In the past, the sound produced by the scrubbing of a match was invariably followed by a pleasant sensation; hence—the joy of the child. But suppose the scrubbing of the match is not followed by the lighting of the candle; the child frets and cries. It is a current opinion that whims are the result of unsatisfied desire.

Here is another example: to-night, the child was delighted with a story which was told to it while it was being put to bed; this means that in its mind, emotional acoustic sensations have become associated with the sensations of going to bed. We can be perfectly sure that tomorrow at bed-time it will ask for a story and will nag until a story is told.

It is clear that the reminiscence of pleasure, being emotional, differs from actual pleasure in the same way as hunger and thirst differ from the satisfaction of eating, drinking etc. Desire can be compared, both physiologically and psychologically to the feeling of hunger. The difference between optical desire and hunger or thirst is that in the case of optical desire, the oppressive feeling common to all desires is accompanied by a visual image; in the case of acoustic desire it is accompanied by the imagination of sounds, etc. As for the oppressive feeling itself, it is due to the peculiar (and still unexplained) fact that the insufficient exercise of nervous mechanisms always leads to an unpleasant feeling.

The reader can now also understand the mechanism of whim. Every desire, when it is not satisfied for a long time, becomes as oppressive as hunger and thirst, and must call forth the same reaction. The similarity between caprice on one hand, and hunger and thirst on the other is also shown by the fact that children are capricious mostly whan they are hungry or thirsty.

Another condition for the development of emotion, given in the organization of nervous mechanisms, is repetition: the more often these mechanisms act, the greater becomes the necessity for them to act (N. B. this holds true only within certain limits of the frequency of repetition and the strength of stimulus). Three quarters of the population of Europe intensify their hunger and thirst and make it more frequent by being immoderate in food and drink. The same is true of sexual craving. This law, when applied to the satisfaction of the higher senses, i. e. sight and hearing, is very easily explained. The more often an emotional psychical reflex is repeated, the greater becomes the number of alien sensations, images, and conceptions which are associated with it, and the easier becomes the reproduction of this emotional reflex in consciousness in the form of thought, i. e. of desire.

It follows that the development of emotion is subject to the same laws as, for instance, the development of imagination from sensations. The origin of emotion lies in the instinctive craving to satisfy the senses; it is developed by means of frequent repetition of the psychical reflex.

But these two acts are different in one respect: the frequent repetition of a reflex makes its psychical component, (i. the sensations, images, etc., taken apart from the accompanying element of emotion) clearer and clearer, by means of association and analysis; emotion, on the contrary, often disappears. The child grows tired of old toys. What pleased it as the age of two leaves it indifferent at five, and the adult is indifferent to all childish pleasures and joys. From this, the following conclusion is usually drawn: man is so constructed that the frequent repetition of an impression, no matter how pleasant it be, becomes tedious; indeed, it is often even said, that our nerves are so constructed that the frequent repetition of a pleasant impression fatigues them.

The following is the only physiological evidence in favour of this supposition. If light of one colour, say, red light, acts for a long time on the eyes, the feeling of red becomes dulled, and what at first seemed glaring red, will gradually seem paler and paler. A musical tone acts unpleasantly on the ear if lasts too long; but the ear listens with pleasure to transitions from one tone to another for a long time. The same applies to the eye: we look at changing colours much longer, and with greater pleasure, than at an unchanging tint. Consequently, every constant external influence which acts upon the child undergoes in its consciousness all the phases of gradual decrease. When the influence is often repeated, the difference between the vividness of the beginning and the paleness of the end, (i. e. between emotion and the absence of emotion) must become sharper and sharper in consciousness. The beginning remains emotional in the positive sense, while the end takes on a more and more negatively-emotional character. These two sensations must be balanced, because they always accompany one another. There are many facts speaking in favour of such an explanation. It is possible for instance, to like a particular dish, and to eat it for a long time with pleasure; but every one knows that the first grouse eaten after a long period of abstinence tastes much better than the tenth. Try to treat yourself to grouse every day for a few months, and you will look at them with aversion. In the given example, the negative feeling that accompanies the eating of grouse (as compared with eating it

for the first time) gradually increases; by and by, it counterbalances the positive feeling and then begins even to preponderate.

Another circumstance also plays an important part in the process of disappearance of passion from many psychical acts. When an emotional reflex is repeated frequently, there finally takes place an analysis of the concrete impression. The child has received a new toy; after the first moment of delight, the analysis begins. This process is repeated many times, and the products of analysis enter more clearly into consciousness. In other words, they are more easily reproduced on every suitable occasion. Consequently, the delight of the first concrete sensation is substituted by the clarity of peaceful contemplation. I do not mean by this that analysis kills pleasure in all cases; the contemplation of parts can give no less pleasure than that of the whole; moreover, the analyser does not lose his capacity to feel concretely.

The disappearance of emotion from a psychical reflex is facilitated by the substitution of new images instead of old ones. Let us suppose that child has one poor toy and has never seen a better one. This toy affords it pleasure for a long time,—naturally, with intervals. But suppose it sees, for a moment, another toy,—perhaps not even a better one than its own. The image of that other toy will become connected in its head with that of the old toy, and the latter will lose its attraction. All that is new and unexpected acts very strongly both on the child and on the adult. Surprise is akin to fear. Pleasure, aversion, even fear may begin with surprise. The newly born babe, who is just beginning to see, hear and feel, must naturally be surprised at everything.

By and by, no matter how strong it may have been, the emotional element disappears from the psychical reflex, with the disappearance of the external influence which leads to it. This is the reverse law to the one according to which the frequency of repetition of an emotional psychical reflex (whether its actual repetition or its reproduction in thought) strengthens the emotion to a certain degree. The nature of this process is very clear. Just as images reproduced in thought are paler than in actual encounter with the corresponding objects, so actual emotion is sharper than emotion which is imagined. This is in itself a sufficient reason why emotion must diminish with the increase of the distance from the object. With the weakening of an emotion, the reproduction of this emotion in thought necessarily becomes less and less frequent, and this is the second cause which quickens the disappearance of emotion. Finally, imagined emotion is accompanied by oppressive sensations of longing which give a peculiar character to the entire psychical act,—still emotional, but in the opposite direction.

Such is the beginning, and such are the conditions, for the development (as well as those for the disappearance) of emotion in the child. Before going further, let me sum up all that has been said.

At the beginning of human life, all psychical reflexes without exception are emotional, i. e. have augmented ends. Little by little, the sphere of emotion becomes narrowed; emotion is called forth, not by dull and monotonous images, but by brighter and more mobile ones. This process is based on the analysis of mobile concrete sensations that are similar, but dif-

fer in brightness and mobility. The frequency of repetition of an emotional impression more or less increases the emotional element, because in these conditions the emotion is generally accompanied by its result—desire. In society, emotion is measured by its intensity (or depth) and vividness. The intensity or depth of emotion is supported by the mobility of the impression, i. e. by the sum of pleasures possible in the course of a given time. In the emotion psychical act, desire plays the same rôle as thought in the ordinary psychical act: it is the first two thirds of the reflex. Not only pleasure, but also the oppressive side of desire, is a source of emotion; only it is differently expressed. Negative emotion is subject to the same laws as positive emotion: here also, the intensity depends on the frequency of repetition, and the vividness—on the keenness of the oppressive desire. Fortunately for mankind, natural conditions are not suitable for the strong development of negative emotions; desires,—being mental reproductions of actual emotional acts,—are devoid of the clarity of the latter; at the second reproduction, they are less clear, at the third, still less etc. Therefore, the strong development of negative emotion can be supported for long only by constant new deficiencies of sensual satisfaction or,—colloquially speaking,—by new failures in life; for one can become accustomed to hunger and cold, and even to the dark and silent prison.

All this shows that emotion, in children, is characterized by *great mobility* i. e. is easily called forth and easily disappears,

In the further development of the child, its conceptions (or more correctly the image connected with its conceptions) obtain an emotional character. This process is shown by the following example: under the present system of education, the child carries over his love from toys to knights, valour and strength, and such like qualities. His passion becomes concentrated mainly on the images of swords, spears, armour, plumed helmets, and horses. As before, the head of the child is full of brilliant pictures; only now those pictures are more varied. This change of interests is inevitable, if we take into account the natural inclination of the child to bright light, noise, and brilliance, as well as the contemporary methods of education. The result of the superfluous glutting of the sense organs with knightly images is that in our society the passion of too many people is primarily concentrated for their whole life on external brilliance. This was not bad, perhaps, in the middle ages, but it won do in our present drab life of toil.

Still, the admiration of the child for strength, manliness and courage is a good thing in some respects. By this time, the child has already separarated its personality from the external world and (unconsciously, of course) loves itself very much, or,—more correctly,—loves itself in pleasure. (Imagine an adult person who experiences only unpleasant sensations, and never a good one; such a man will be a burden to himself, i. e. he will never love himself). So it is no wonder that the child girds on a sword, claps on a helmet, and rides a stick. He associates himself with all the heroes who pass through his mind, with all their properties,—external ones at first; gradually, under the influence of repeated acoustic reflexes (stories), his conception of a knight acquires more and more knightly virtues. Introduce the aversion for vice into the composition of the knight in the story,—

and the child will despise vice,—of course in his own way, i. e. according to his childisch conception of vice. Make your knight help the weak against the strong,—and the child becomes a Don Quixote: the thought of the defencelessness of the weak makes him tremble. Blending himself with his favourite image, the child begins by loving all the properties of this image; later, as a result of analysis, he loves only its moral properties. Such is the whole moral side of man.

Love of truth, great-heartedness, compassion, as well as the hatred of all the opposite features of character, are developed in the same way, i. e. by means of the frequent repetition in our consciousness of those emotional images (optical or acoustic) which vividly show all the virtues enumerated above. After this, it cannot be surprising that a youth of eighteen who loves truth passionately and is not attracted by those motives which develop in the majority of people in more ripe years, is ready to suffer torture for this truth. So did his idealised knights, and he cannot but be a knight, for he has been one from the age of five to eighteen.

If the reader has attentively followed this example he will easily see that at the basis of our passionate adoration for good deeds and aversion for vice there lies nothing else but an immense series of psychical reflexes. Our passion is at first directed to the bright colours of an object; then it turns to the bright mantle of the knight in the picture; then to one's self arrayed in a knightly costume; then it turns from concrete impressions to the products of their analysis (i. e. to the virtues of the knight), or to the concrete image in new forms; finally, it leaves the knightly envelope, and passes over to similar qualities in the peasant, the soldier, the statesman, or the general. The reader understands from this that one may remain a knight even in ripe years. Much of the passion will dissappear, and instead of it there will appear what is termed deep convinction. It is such people who, under favourable circumstances, develop into the noble types mentioned at the beginning of this chapter. In their actions, they are guided only by high moral motives, by truth, love of man, sympathy for his weaknesse; they remain true to their convictions in spite of all natural instincts, because the voice of these instincts is weak beside the brightness of the satisfaction which the knight receives from truth and the love of man. These people cannot be changed: their activity is an inevitable consequence of their development. There is a much consolation in this thought, for without it, our belief in virtue would be impossible.

To conclude this section on emotions and passions, I shall as a last example analyse sexual love; this is necessary because there exist many distorted conceptions of this problem.

There is an instinctive side in the love of man to woman—the sexual craving. Indeed, it is with sexual craving that love begins, for it is only with the ripening of the sex organs that this feeling appears in the boy. I shall not try to solve the question whether a boy associates his first sexual longings with the image of a woman involuntarily, or whether this association is prepared by knowledge beforehand. The only thing we know definitely is that with our system of education the latter is true in nine casses out of ten. Anyhow, this association exists very early, and there is nothing volun-

tary in it, no matter how it may have arisen. It is also difficult to explain, why early sexual feeling is associated with the image of one particular woman, and not with that of another one, or with all women in general. One thing is certain: sexual feeling can hardly become associated with those women who constantly surround the boy. He has known them for a long time; consequently they are associated in his mind with other sensations which are also emotional, but have nothing in common with sexual sensations. These non-sexual associations are very strong, because of the frequent repetition of reflexes in which these women serve as stimulators of his senses; consequently, the image of these women calls forth keen non-sexual sensations, and even if sexual sensations become associated with them, they will be comparatively weak and will remain unnoticed. (Thus, for instance, we are not conscious of the thoughts which are associated in us with the reflexes issuing from the stomach, though such associations probably exist). Therefore, boys first fall in love with vague images, their ideals. At first, there is great difference for the boy between this dim image and that of his ideal knight, except that it is accompanied by different sensations. It is obvious that such an elastic form can acquire any properties,—any sounds and images,—in the course of the boy's encounters with life. The nature of this process, notwithstanding its poetic character, is the same as before: it is the result of the frequent repetition, under the influence of real encounters with women, of a reflex with feminine images. By and by, when this ideal begins to occupy his imagination more strongly, the boy endows it with all the features he loves,—not only those of women but also those of knights. When, finally, the ideal has taken on a more or less definite form, and the boy happens to meet a woman who resembles his ideal, this woman becomes, as they say «the woman of his dreams» and he begins to love her; or,—to use our terminology,—he has associated his passionate ideal with a real image. This is the so-called «platonic love». The sex element in it is extremely weak, because it includes, beside the clear (and consequently passionate) optical and acoustical sensations, still undefined and obscure sexual desires. For the same reason, love is more objective than any other emotions,—and this in spite of the extremely subjective character of love as a sum of passionate feelings. Herein lies the noble side of the love for woman. Man learns not to be an egoist and to love someone at least as much as himself, if not more. These words demand an explanation. When a man loves a woman, he loves, strictly speaking, his own pleasures, but he objectifies them and regards the woman he loves as the cause of all his pleasures, so that in his consciousness, beside the image of himself, there now stands the resplendant image of a woman endowed with all good qualities. He must love her more than himself because we never include in our ideals those emotions which we do not like. We attribute to the woman we love only the best side of our pleasure. Such an emotional state inevitably leads to so-called self-sacrifices, i. e. a man may act contrary to all natural instincts, contrary even to the voice of self-preservation.

A day comes when the man begins to possess his ideal. His passion flames up brighter than ever, for instead of obscure sexual cravings there come the vivid sensations of palpitating love, and the woman herself appears in

a hitherto unrealized glamour. But a few months pass,—a year or two years at the most,—and the passion is ended, even in those lucky cases when reality corresponds to the ideals on both sides. This is inevitable because, as we know, the strength of passion is supported by the constant change of the emotional image. During one or two years of joint life, all possible changes are exhausted on both sides, and the vividness of passion has disappeared. But love is not destroyed: as a result of the frequent repetition of reflexes the psychical contents of which is the image of the beloved woman with some, or all of her virtues, her image becomes combined with all the movements of the soul of the lover and she becomes really a part of himself. This love by habit is friendship.

It is doubtful whether a person who has lived through all these natural phases of complete love can love passionately a second time. Repeated passions are the sign of dissatisfaction with the previous passions.

This is all I intended to say about the development of emofions. From the examples given, the reader can see that these phenomena are essentially reflexes, only complicated by the addition of emotional elements, and therefore manifested externally by movements which are stronger than usual. This is why I have named them «*psychical reflexes with augmented end.*» Fear (of which we have spoken in the chapter on involuntary movements) is also an emotion,— both from the point of view of its psychical contents and of its manifestations. Therefore, the hypothetical mechanism of fright already known to the reader may also serve as an anatomical model of the mechanism of emotion.

Finally, I must mention the external manifestations of the highest degrees of emotion—enthusiasm and ecstasy, which are characterised by their immobility and therefore seem to be an exception to the rule. This state in spite of its apparent immobility, is not an absence of movement. On the contrary, it is based on movement, for without movement enthusiasm would have no external expression; indeed, movement is in this state even increased to such a degree that the contracted muscles become rigid. This explains the immobility, the «petrified» expression of enthusiasm. The same takes place in the higher stages of terror. Consequently, inhibition of movements plays no rôle whatever here.

§ 14. After discussing the mechanism of inhibition of reflex movements and showing the reader that the chief result of this inhibition is thought, (i. e. psychical reflexes without their final member), I then directed the reader's attention to those properties of thought, owing to which man is able to mentally separate thought from action, even when the action takes place only in thought. We pointed out that the knowledge of these facts would be necessary when we studeid the illusions of self-consciousness. Now I shall try to do the same in regard to desire and action.

The reader already knows what place is occupied by desire in the reflex of passion. Desire always appears when the reflex of passion does not reach completion, i. e. remains unsatisfied. From this point of view, desire and thouhgt are identical. But as in the majority of cases desire is evoked in adults by some kind of imagination,—either one image or a series of them (a thought)—, desire is nothing but passionate side of thought. From

this it follows that the conditions for distinguishing a desire from the action which this desire calls forth, and by means of which it is satisfied, even when the action is only thought of,—are the same as those developed above. Indeed, they are especially clear in this case, because the sensation of desire is always more or less oppressive, negative, while the sensations accompanying an action which satisfies passionate desire are always definitely positive. It is clear, therefore, that in my thoughts I can passionately desire something, i. e. yearn for the satisfaction of my desire. The external manifestation of this act is expressed in the words—«This man is in deep thought». Ask him what he is doing, and he will answer: «I am thinking».—«What about?»—«I intend, I long, I want, I am yearning to do this and that.» The words he will choose depend on the more or less passionate character of his thought. This shows that «to long» and «to wish» is practically the same thing,—and still these two expressions are often used with extremely different meanings. It is generally said that longing is very capricious, and, like all emotions, goes against will; whereas wish is often taken to be an act of will. «*I want to do so, but I shall not execute my desire. I am tired and sitting; I would like to lie down, but I remain sitting.*» The *wish* to stay sitting in spite of the *desire* to lie down, is supposed to be an act entirely devoid of emotion. *It is generally believed that a person can even act against his desire if he so wishes (dispassionately).* I am tired, but I am sitting; I would like to lie down (this language is not correct if there is no emotion in the wish), but I get up and begin to walk. Here the dispassionate wish to get up is even stronger than in the first case. The languages of various peoples expresses their belief that will (i. e. dispassionate wishing) is all-powerful. Even the French,—who are one of the most mobile and passionate peoples of Europe,—say—«vouloir c'est pouvoir»; which is equivalent to the assertion that the power of will (of dispassionate wishing) has no limits.

The reader sees clearly that there must be here some sort of confusion either in the words expressing sensations, or perhaps even in the sensations themselves, with the words and conceptions connected with them.

We shall now occupy ourselves with clearing up this matter.

In the first place, we must agree about the expressions we are going to use. If a nearly dispassionate psychical reflex is given in consciousness (in the form of a thought), then I shall name «*wish*» the emotional striving to bring this reflex to its completion, i. e. to satisfy the emotional longing. «*I wish to do this and that.*»

When the emotion is more clearly expressed, we shall call the same side of the reflex «desire».

Having thus agreed on the terminology, let us now analyse those cases where, as it is said, «dispassionate wish triumphs over desire».

I am tired and sitting. The feeling of fatigue inevitably invites me to lie down (I desire). But is it possible for me to remain sitting, if at the given moment there is absolutely no reason why I should do so? It is impossible. Consequently there must be some reason for my dispassionate desire to remain sitting. The existence of such a reason is made necessary by the very fact that we have defined wish as the element of s t r i v i n g in our thoughts.

Even if a person remains sitting out of pure caprice, i. e. in the most voluntary manner possible, there must be some reason for it. People would say: «this gentleman is not very tired, and his caprice is stronger than his will.»

The same is true of the case when a person wishes to do something contrary to his desire, and really does it: this shows merely that his wish was stronger than his desire.

But the reader will ask: how can a less passionate thought triumph over a more passionate one? Because the dispassionateness of the first is only apparent. When I am tired, the feeling of fatigue is clearer than anything else; nevertheless, I do not go to bed because, for example, I am afraid that if I fall asleep I may be bitten by a snake. Under other circumstances, this thought would have forced me to shudder; but now it only makes me remain quietly sitting, and the only thing I feel clearly in addition to this thought is fatigue. It is different if I, being tired and fearing snakes, suddenly see a snake before me; then the sensation of fear will be stronger than that of fatigue, and I shall take to my heels. One more example,— this time of a case where dispassionate wish triumphs over passionate thought: I have promised my friend to come and see him at a certain hour. Being accustomed to keep my promises, I do not lie down, though I am tired, because I am afraid that if fall asleep I shall be late, even though I know there will be no disaster in this. Here, the strength of the thought that keeps me away from my bed is due to my habit of being exact, i. e. to the frequent repetition of a reflex. What has been done a thousand times is easily done for the thousand and first time.

The reader will see clearly that in all such cases, a reason can be found for every wish, and if the wish is stronger than the desire the former will always triumph over the latter. The process does not thereby lose its reflex character. One after another, series of associations are called forth by definite external influences, and the end of the reflex is the logical result of the strongest association. There are, however, many cases where it is hard to define the causes of a wish: this is why it seems that wish is itself the primary cause. Here is a very illuminating example.

To prove that what I say about dispassionate wishes is nonsense, my opponent says «*At the present moment, I think I shall want to bend my finger in a minute, and I really do so* (N. B. he does bend it in a minute); *and I am conscious,— most definitely conscious, that the beginning of the entire act arises in myself, and that I am lord over every moment of the act.* To show that the act is really born in him, he assures me that he can repeat it any time of the year, day or night, of the summit on the Mont Blanc or on the coast of the Pacific Ocean, standing, sitting, lying,—in a word under all external conditions imaginable, if only he is conscious. From this he concludes that wish does not depend on external conditions. He proves his power over every separate moment of his entire act by pointing out that if he wishes so, he can bend his finger not only after one minute but also two, three, four or five minutes; moreover, he can bend it slowly, fast, or still faster.

I shall try, so far as possible, to show the reader that my opponent,

in spite of the great number of his arguments, bends his finger quite automatically.

To begin with, the conversation between my opponent and myself about dispassionate wishes could not have begun without any reason, in Lapland or Petersburg, in the night or in the day, standing or lying. There must always be some reason for such a conversation. It might be objected that it is the will of my opponent to speak or not to speak. The answer to this is easy: there must be a special cause in each of these cases. The one which is stronger will prevail. My opponent has spoken; this means he could not help speaking.

Once having begun to speak on our subject, he does not need any further external influence: he may close his eyes and stop his hears; he may be in Europa, or in Asia, on a mountain top, or at home and in bed,—everywhere he will speak in the same way. Why is this so? That is very simple. In his life, he has made millions of voluntary movements with his hands, feet and tongue; in many million cases, he has voluntarily refrained from making them; many thousand times, he has named these movements or thought of them as acts of his will; consequently, the image of the entire act with its name is associated in my opponent with nearly all possible objective external agencies, so that this image cannot be influenced by the view of surrounding nature, or by cold, or by any state of his own body. Therefore, it was absolutely inevitable that my opponent's thought should have come into his head in the given form. Maybe, you will ask me why my opponent has chosen the bending of his finger, and not some other movement to illustrate his point of view. I can give only a general answer to this question. Most of our movements are performed with our eyes, tongue, arms and legs. But in ordinary conversation, we generally associate the expression «movements of a person» not with the movements of the eyes and tongue, but with those of the arms and legs. This is so because the tongue is not visible when we speak, and the movements of the eyes are too short and rapid to be noticed, while those of the arms and legs are very noticeable. Therefore it is natural that when we speak of voluntary movements and want to give a suitable example, we should choose for this purpose a movement of the arms or legs preferably to all other movements. Furthermore, the arms are preferable to the legs because they are incomparably more mobile and free (i. e. less occupied). When we are excited, we invariable move our arms while speaking; but it is only in extreme cases that we move our legs; consequently, it is more natural, when looking for an example, to choose the arms and not the legs. Now, among the different parts of the arm, the wrist is more mobile and more frequently used than the other parts. In most movements of the whole arm, the fingers move at least ten times as often as the other parts of the arm; flexion at the elbow, or pronation and supination are comparatively rare. Consequently, it is natural, when discussing the problem spoken of above, to choose the movement of a finger, viz. its bending, as the most frequent act. But what does «natural» mean? It means that when we think of moving a finger this movement follows of its own accord, i. e. involuntarily. Therefore, my opponent, without noticing it,—or more correctly, imagining he notices the opposite, began by involuntarily thin-

king, then spoke,—also involuntarily,—and ended by involuntarily moving his finger. But why did he think first, and move his finger after? Because people usually think before acting. The reason why there is an interval between the thought and the movement of my opponent is given in the very purpose of his act: he wishes to show me his power over movement in the course of time,—he himself has said so. But why did he choose one minute, instead of 2, 3, 4, or five? The answer is the same as to the question of why he has chosen the movement of a finger and not of some other part of his body: a minute is neither to short, nor too long. My opponent knows very well that it does not matter what period of time he chooses; the important thing is to show that he can move his finger after any given time. Therefore, he chooses the period which is most convenient for him.

We have thus come to the conclusion that my opponent is really labouring under an illusion of his consciousness: his entire act is practically nothing but a psychical reflex, a series of associated thoughts called forth by the first impulse to conversation and expressed by a movement which arises logically from the predominant thought.

Therefore, a dispassionate wish,—no matter how independent of external influences it may seem,—depends upon them just as much as any sensation. When (as in the example just analysed) it is not possible to determine the cause of the wish, the result of this wish is not strong. If, on the contrary, a dispassionate reflex tales the upper hand in the struggle against a strong passionate desire, this dispassionate reflex is either based on a thought with a very passionate substratum, or on a habitual thought, i. e. a thought that has become unconquerable owing to the frequency of its repetition. A man with high morals, like the one we spoke of in the beginning of the chapter on voluntary movements, can act as he does only because he is directed by high principles which have been developed in him by the whole course of his life. The presense of those principles makes it impossible for him to act in any other way; his behaviour is the inevitable consequence of these principles.

After what has been said, there is no need to analyse point by point the typically involuntary activity of the person who was taken as an example in the beginning of the chapter on involuntary movements. Those of my readers who have grasped my point of view do not need it; those who have not will not be convinced by any further explanations.

The question whether the most voluntary of all actions of man depend completely upon external and internal conditions in thus answered affirmatively. This means that *under similar external and internal conditions man must act in the same way.* The choice of one of many possible ends of the same psychical reflex is definitely impossible, and its apparent possibility is only an illusion of our consciousness. The nature of this complex act consists in the reproduction, in the consciousness of man, of, seemingly, one and the same thought (i. e. of a psychical reflex with the same psychical contents); but this thought is reproduced under different conditions and is therefore expressed in several different ways. Suppose one of the ends has a more emotional character than the others,—and you will want to act accordingly; suppose there arises in your mind a stronger, though less emotional image that draws you in the opposite direction,—and your psy-

chical reflex will have another end, etc. Suppose, finally, that the moment has come to apply the reflex in practice,—and lo! in half of the cases the plans go wrong and the person does not act as intended. Even those who firmly believe in the voice of self-consciousness say in such cases that the person did not fit into the external conditions. In our opinion, this shows that *the real cause of every human activity lies outside man.*

My task is practically ended. The acts of thought, in the broadest sense of the word, and the external activity to which thought leads, form the sum total of our conscious life. Thereby the clearest possible answer is given to all possible questions.

It remains for me to point out the great need of further of research in this field, and to show thereby the insignificance of what I have done in comparison to what will be done in future.

1) In the present work, we have analysed only the external side of psychical reflexes,—only the paths which they follow. There has been no mention of the nature of the process. Every one knows, for example, the sensation of red colour; but no one in the world can explain the nature of this sensation. We do not even know what is going on in the sensory or motor nerve when it is excited. So much the more impossible it is to understand the nature of the higher psychical acts. «But»,—the reader will ask,—«how is it possible, in that case, to speak of the paths of reflexes?» It is possible, because though we do not know what is going on in the excited nerves, muscles or brain centres, we cannot but see the laws of the pure reflex and cannot but consider them true. And once having accepted this, we have the right to look for a relationship between any mental phenomenon (for example any conscious act of man), and reflexes. And every time we find such a relationship (I am convinced it can be found in every case; but naturally my conviction is not an absolute truth for every one), we can say that the nature of the given conscious act of man is the same as that of reflexes. This I have attempted,—no more.

2) Taking my point of departure from pure reflexes, I naturally have to accept the hypothetical side of the reflex as well. For example, the assumption that the nerve centre which connects the sensory and motor nerves is a nerve-cell, is highly probable but nevertheless hypothetical. The assumption that there exist in man centres which inhibit and augment reflexes is also a hypothesis, because phenomena which have been demonstrated on the frog have to be carried over directly to man. The existence of such centres in man is extremely probable; but it has never been positively shown. «But what then is the value of your teaching?»—people will ask me. I answer: My teaching is a pure hypothesis, as far as the presence in man of three separate mechanisms directing the phenomena of conscious and unconscious life is concerned (viz. the mechanism of the pure reflex, and those of reflex inhibition and augmentation). Let any one who thinks this hypothesis is doubtful, poorly demonstrated, or simply unacceptable, controvert it. But even if he succeeds in doing so, my conclusions will not suffer therefrom, because my chief task is to show that all acts of conscious and unconscious life are reflex from the point of view of their mechanism; as for the explanation of why the ends of these reflexes are weaker in some ca-

ses and stronger in others,—this is a matter of secondary importance. If anybody finds a better explanation, I shall be the first to welcome it.

3) In the present investigation, we have not mentioned the individual peculiarities of the nervous system of the child at the moment of its birth. There can be no doubt that they exist (racial peculiarities, and those inherited from the nearest relatives) and that they influence the whole development of the man. It is impossible, however, to ascertain these peculiarities, for in the majority of cases, 999/1000 of the contents of the mind depend on education in the broadest sense of this word, and only 1/1000 depends on individuality. Of course, I do not assert that you can make a wise man out of a fool. This would be the same as to say that you can develop hearing in a man born without the acoustic nerve. What I really mean is that by bringing up a clever Negro, Lap, or Bashkir in European society and in the European fashion, a person will be produced whose mentality hardly differs from that of the educated European. However, I cannot enter into the discussion of these unquestionably interesting problems; this is even unnecessary for my purpose. The object which I have chosen for my analysis of the mechanisms of the acts of conscious life is a personality of very high intellectual standing. If my principal conclusions can be applied to the activity of such a highly developed type, then it must be all the more true of less developed individualities.

4) Our explanation of memory and of the reproduction of psychical formations is also based on a hypothesis,—namely, on the assumption of the existence of latent traces remaining after nervous excitation. There is nothing improbable in this hypothesis for the naturalist, the more so as the phenomena of memory are in many respects similar to the sensory traces of light which appear immediately after every optical stimulation. In addition to what we have already said to prove this similarity, the following fact may be given: it is known that the trace of light is more clearly felt if the eyes, after having been stimulated by the view of an external object, are subjected to the least possible light. For instance, after looking at a candle, we must close our eyes and cover them with the hand if we want the trace of the light of the candle to be clear. The same is true of the reproduction of images in thought. They are especially clear in sleep, i. e. when very little light is acting on our eyes, and when all other senses are resting. It is easiest to think in images in darkness and absolute silence. Only a madman or a person suffering from optical hallucinations can think in images in a noisy and well lit room.

Anyhow, the hypothesis of latent nervous excitation explains the finest sides of psychical activity, remaining well within the limits of physical possibilities.

5) Finally, I must confess that I have built up all these hypotheses without being well acquainted with psychological literature. I have only studied the Benecke system, and that in my school years. The works of the same author have given me a general knowledge of the theories of the French school of sensualism. Professional psychologists will probably point out the resulting defects of my work. But my task was to show the psychologists that it is possible to apply physiological knowledge to the phenomena of psy-

chical life, and I believe that my aim has been partly attained. I think this justifies my attempt to write about psychological phenomena without knowing beforehand all that has been written on this subject, and knowing only the physiological laws of nervous activity.

After reading the long list of hypotheses serving as basis for my views on the origin of psychical acts, my readers will perhaps ask once more: why should we give up our belief in the voice of self-consciousness, when it tells us clearly many times a day that our voluntary acts are due to impulses which arise in ourselves, and consequently we do not need to have any relations with the outer world, except, perhaps, those which support the life of the body?

If what I have already said is not sufficient to remove such questions from the head of my reader,— I ask him to take into consideration the following well-known facts: when a physically exhausted person falls into a *deep sleep*, his psychical activity decreases to nought: in this state, he sees no dreams; at the same time, his sensitivity to external stimuli is also extremely low: he cannot be awakened by light, loud noise, or even by pain. The simultaneous diminution of sensitivity to external stimuli and of psychical activity is to be met in alcoholic inebriation, chloroform narcosis and fainting. This is a well-known fact, and no one doubts that the loss of sensitivity and the stoppage of mental activity stand in causal relationship to one another. Opinions differ only as to whether the loss of consciousness leads to the loss of sensitivity, or vice versa. In reality, however, there can be only one opinion on the matter; let off one, two, three, or a hundred cannons near a person in a dead sleep, and he will awaken and his psychical activity will immediately reappear. But if the man is deaf, you can theoretically discharge a million cannons without bringing him to consciousness, If he were blind, the same would be true of strong optical stimuli; and if he were deprived of cutaneous sensations, the most terrible pain would lead to nothing. In other words, a man in dead sleep and without sensory nerve would sleep on to his death.

Now let anyone try to assert that psychical activity and its expression, movement,—are possible,—be it for the least moment,—without external sensory stimulation!

WHO MUST INVESTIGATE THE PROBLEMS OF PSYCHOLOGY, AND HOW

Mental life is subject to certain immutable laws; if this is true it is possible for psychology to become an exact science; but this will happen only after these laws have been established, not only in principle, but in detail. Among all the phenomena of the universe, only two groups are in any way comparable to the psychical life of man: 1) the psychical life of animals, and 2) those nervous activities of the organisms of man and animals which are studied in physiology; these two groups of phenomena are more simple, and therefore may help us to understand the psychical phenomena in man. The comparison of the concrete psychical phenomena of animals with those of man is the subject-matter of comparative psychology; the comparison of psychical phenomena with the nervous processes going on in the human body forms the basis of analytical psychology, since in the organism, the nervous processes are more or less differenciated. It is thus manifest that only physiologists can conduct researches in the field of analytical psychology.

Anyone who considers that psychology is an inexact science thereby assumes that man has no special mental apparatus for the perception of psychical facts, that he has no internal vision or feeling which can take cognizance of the products of our consciousness immediately and in their essence by becoming merged with object of cognition. Indeed, we know that natural sciences take cognizance of the objects of their study only mediately; and if psychology possessed such an advantage over natural sciences, it should not only have surpassed them, but should have become infallible in its inferences and generalizations; whereas in fact even the problem of *how* to study psychical facts and *who* is fit to be a psychologist has not yet been solved.

Those who considers that psychology is an inexact science admit thereby that the subject of psychological study,—psychical phenomena,—is highly complicated. Otherwise it would be impossible to account for the extreme backwardness of psychology in the scientific development of its subject, and this in spite of the fact that psychological research was begun in remote antiquity, long before the birth of physics and chemistry.

On the other hand, anyone who asserts that psychology is possible as a science, thereby asserts that psychical life as a whole,—or at least in some of its parts,—must be subject to laws as immutable as the laws of material life, for this is the *conditio sine qua non* of all truly-scientific treatment of psychical phenomena. Fortunately, this vital question of psychology has been answered affirmatively even by those psychological schools which believe that mental and material life are separated by an impassable gulf. Indeed, how could it be possible to think otherwise? The main characteristics

of the mental activities and sensory faculties of man have remained unchanged through the different epochs of the history of mankind, and depend neither on racial or geographic distinctions, nor on the degree of civilization. There is no other way of accounting for the fact that we are conscious of the moral and intellectual relationship of all the races of mankind, and no other way for us to understand the ideas, feelings and behaviour of our ancestors in remote epochs. The only thing that prevents us accepting the idea of the immutability of the laws governing our psychical life is the voluntariness of human acts. But modern statistics have thrown some light on this medley of psychical phenomena by proving that some undoubtedly voluntary human acts (marriages, suicides etc.) are subject to definite laws, if they are taken, not as individual cases, but in the aggregate, and for a considerable period of time. Even without these valuable statistical data, everyone will agree that even individual free will, as a rule, cannot transgress definite limits.

Consider the general opinion concerning the acts of separate individuals: some of these acts are attributed to environment, others to the education or character of the individual. Only the actions of a lunatic are often unaccountadle; however, there can be no doubt that even in such cases there must be motives, although the relationship between these motives and the acts to which they lead may be not the same as in the normal man, and the actions may be irrational.

The subordination of human actions to definite laws is clearly shown by the fact that the personages represented in literary fiction are endowed with typical traits of character. It is just because the behaviour of these imaginary individuals is consistent with their personalities and environment that we say they are true to life. Hence, the fundamental condition which is necessary to make psychology an exact science is not merely possible, but has actually been accepted for ages by all thinkers.

However, this is only the recognition of the possibility of psychology as an exact science; for the actual existence of a science begins, not when the laws of the phenomena which it studies are merely anticipated, but when these laws can be proved, both in principle and in detail.

Thus, even the most ignorant person realizes that there must be a definite relationship between the flame and the burning of the combustible materials consumed by it; and yet this is not scientific knowledge, but merely raw material for science. Science must dissect a given integral phenomenon as far as possible; it must reduce complex relationships to simpler ones; and only when this has been achieved to a sufficient degree, the anticipated laws become a scientific truth. Psychology must take the same course: it's first task is to work out the general principles for the classification and analysis of psychical phènomena.

Since we have come to the conclusion that psychology is an inexact science, the best thing will be to conduct our present study just as if psychological phenomena had never been dealt with scientifically. Consequently, our study of psychology must be conducted according to the fundamental principle of every young branch of science (a principle which was at one time

accepted even in mathematics), viz. to proceed from the simple to the complex, or,—in other words,—to explain the complex by the simple and never to proceed in the inverse order. It will then become manifest to the reader that the next step of our research must be to juxtapose and compare the complex facts under investigation with other and more simple facts which are similar to them in some respect or other. Let the reader consider absolutely all species of phenomena in the inorganic sphere, in the world of plants and animals, and in the human society and let him compare the mental life of man with each of these groups of phenomena in turn. He will inevitably come to the conclusion that the only phenomena which have something in common with the mental life of man are the psychical phenomena of animals; he will further see that the phenomena of social life are determined by those of the psychical life of the separate human individual. It will also be obvious to him that the first group of phenomena (i. e. the psychical phenomena of animals) is less complicated, while the second one (i. e. the phenomena of social life) is more complicated than the psychical life of man. *It is, clear, therefore, that the psychical phenomena of animals, and not those of man, should be used as the primary material for studying psychical phenomena.* It might be objected that the resemblance between the psychical phenomena of man and those of animals is merely superficial, and that the actual difference is so great that it is impossible to compare them. This opinion, which is held by many people, is certainly quite sound as far as the quantitative aspect of the phenomena is concerned: the quantitative difference between the psychical life of man and animals is certainly very great. But there are no scientifically established reasons for asserting the existence of a qualitative difference between the psychical system of man and that of animals. The assertion that there are is merely a hypothesis and not the result of a scientific analysis of facts, because the comparative psychology of animals and the psychology of man do not yet exist as sciences.

Let us even suppose that the resemblance between the psychical processes of man and those of animals is limited, and that beyond this limit they are essentially different. Even in that case, the rational method of studying the psychical phenomena of man would be to deal first with the features of similarity, leaving the discussion of further problems to the future, if our present knowledge gives no clue for their solution.

The history of the development of physiology is a very instructive example in this respect. In the past, the differences and affinities between the phenomena of the human body and those of the material world attracted the attention of thinkers almost as much as the differences and affinities between psychic and somatic phenomena do nowadays; this led to the formation of three physiological schools, the doctrines of which were quite as much opposed to each other as the doctrines of idealists and materialists in the psychology of our time. Some, being chiefly interested in the motor phenomena of life, joined the school of iatromechanists who attempted to give a mechanical explanation of life, while others, being struck by the chemical aspect of vital phenomena, joined the school of iatrochemists. Some, finally, turning their attention to those aspects of life which seemed to them to make life incomparable to any other phenomena of the material world, formed a third physiological

school, that of the vitalists,—a school which entertained the opinion that the living body is endowed with special «vital forces» having nothing in common with material processes. The opinion originally held by the two former schools were often ridiculous in their details; nevertheless, these schools gave rise to the experimental physico-chemical physiology of our time, while the school of vitalism does not play any rôle in modern physiology. This can be easily understood if we take into consideration the fact that in the primitive conceptions of the iatrophysicists there was a sound germ of scientific approach, which sought to explain the complex by the simple; whereas the school of vitalists, by regarding the nature of the human body as something entirely apart from more simple phenomena, could lead to nothing but a feeling of amazement before the facts observed, and could not further the analysis of the elements of these facts.

Many a physiological phenomenon remains absolutely enigmatic even now, (e. g. impregnation of the ovum, development of the embryo, transmission of phylogenetic and individual peculiarities by heredity, and so on); but it never occurs to any physiologist to explain these phenomena by assuming the existence of special forces; he prefers to say laconically: «I do not know».

It is evident that the proper method of solving our problem would also be to explain the complex by the simple. Unfortunately, it is as yet impossible to estimate even approximately the importance of the comparative study of the psychical phenomena of man and animals. Some raw material is already available for such a comparative study: this includes the data supplied by the observation of animals and designated by the general term of «customs and habits of animals», and the data of the so called «practical psychology». However, really serious attempts carry out lead a comparative study of the psychical processes in man and animals have only just begun. It is easy to understand that such a study would be specially important in classifying psychical phenomena, for it might reduce a large number of complex phenomena to less numerous and more simple types, and would also define the stages of transition from one form to another. For instance, it is possible that comparative psychology might give a more natural classification of various sensations (sensations in the narrow sense of this word, affects, and passions), and might even bridge the impassable gulf which exists in our consciousness between intelligence and instinct, between rational acts and involuntary ones, etc.

On the other hand, it is easy to understand that by comparing concrete facts of greater complexity with those of lesser complexity we can at best achieve a complete reduction of a complex concrete form to a simple one, but we cannot achieve an analysis of the latter. The investigator is thereby placed before a new problem: he must find some means of separating the concrete psychical phenomena of animals into their elements. Unfortunately, it is impossible to apply for this purpose those methods which are used in physiology to analyse the phenomena of the animal body; the chief reason of this is that our consciousness,—which is one of the most important psychical penhomena,—can be studied only upon one's self. by means of introspection.

Consequently, the methods of comparative physiology cannot serve as a point of departure for the *analytical* study of mental phenomena, and we have to look for this in some other field.

But can human psychical phenomena be compared to anything? To ascend from them to more complex phenomena is impossible; immediately below them stand the unanalysable phenomena of the psychical life of animals; and still lower lies the sphere of inorganic matter. Is it possible to compare psychical life with the life of rocks, plants, and even of the human body? When the greatest thinkers of the past compared the physical and mental life of man, they usually found not affinities, but only great differences. Indeed, early philosophers held the same views on the nature of psychical phemomena as do the vitalists in respect of the phenomena of the body. And it was quite natural for them to do so, for in those days physiology did not exist, and the phenomena of the body had not yet been sufficiently analysed to make the resemblance between some of them and psychical activities noticeable.

Things are different nowadays:—*physiology possesses a number of data that establish the affinity of psychical phenomena to those purely somatic acts which are called the nervous processes of the body.*

Here are the chief of these data (it should be born in mind that if a number of arguments are advanced in support of an idea the conclusiveness of this idea must be judged of, not by any separate argument, but by the sum total of these arguments):

1) The performance of every psychical act, no matter how simple it is, takes a certain time. The more complex the act, the longer the time it requires. (See textbooks on physiology).

2) For psychical activity, the anatomical and physiological integrity of the brain is necessary. (This is a well known fact).

3) The germs of psychical activity (at least of that of the new-born child) develop from a purely material substratum,—the ovum and the sperm. (A well known fact).

4) A number of individual psychical peculiarities, which in some cases pertain to the highest faculties; such as hereditary talents, are transmitted by means of the same material substratum.

5) There is no sharp distinction between definitely somatic (i. e. bodily) nervous acts and definitely psychical phenomena.

6) Physiologists have lately established, by studying bodily phenomena in connection with the structure of the body,—i. e. without transgressing the limits of their science,—a close relationship between the character of perceptions and the structure of the respective organs of senses.

Of these data, №№ 1, 2, 3, 4, and 6 are well known, not only to the scientist, but even to the layman; and only № 5 demands more detailed explanation. To prove the truth of the latter it is sufficient to establish the affinity between somatic nervous processes and the lower forms of activity of the higher sense organs, for it has been generally accepted, ever since the time of Locke, that the activity of the higher senses is the chief (if not the exclusive) source of psychical development.

The activity of the sense organs is comparable only with those somatic nervous processes which proceed in the same way as the so-called reflexes, since only reflexes possess the property of being initiated purely by external stimuli acting upon receptive surfaces, and every sensory organ is provided with such a surface. Fortunately, most of the nervous processes in the body are of the reflex type (only very few exceptions are known, and the nature of these exceptions is still unclear) so that a very extensive parallel may be drawn between them and the processes in the organs of sense.

Physiology distinguishes three important phases in the reflex, in accordance with the structure of the reflex mechanism; these are the stimulation of the sensory surface, the activity of the central nervous system, and the manifestation of the stimulation in the effectors of the body (muscles and glands). For the sake of brevity, I shall call the beginning of an act its first phase, or first member, its middle—the second phase, or member and the external manifestation—the end of the act. The assumption of these three phases permits us to compare the reflexes and the activity of the organs of sense in the following respects:

1) their general external manifestations,

2) their general significance for the body (a general comparison),

3) the complication of the phenomenon by new elements added to the three principal ones, and lastly,—

4) the relation between the beginning and the middle of the act on the one hand, and the middle and the end on the other hand. (These are partial comparisons, which at the same time determine separately the relative rôle of each of the three phases of the reflex).

The external manifestation of a reflex is given only in the beginning and at the end of the act; the middle of the act is inaccessible to direct observation. A decapitated frog draws in its leg when it is pinched; this is a reflex. A dog in deep narcosis produces saliva if a little vinegar is poured into its mouth; an animal blinks if you wave your finger before its eyes; a new-born child begins to suck if you put your finger into its mouth, etc. In all these cases, an external stimulus applied to a sensory surface (in the foregoing examples, those surfaces were: the skin, the mucous membrane of the mouth, the mucous membrane of the eye, and the mucous membrance of the lips) is *invariably* followed by definite manifestations in the muscles or glands in the form of movement or secretion; moreover, in all these cases the manifestation is an expedient purposeful activity, positively useful to the body. For instance, the fact that saliva is excreted only in response to the irritation of the surface of the cavity into which the food has been put, is of considerable economical importance, for it prevents the waste of digestive juices; reflex blinking is a means of protecting the eye; the sucking reflex of the child is a means of taking food. All the reflex actions known to us, such as: reflex sneezing and coughing, as the means of expelling extraneous bodies which have penetrated into the nose or throat; vomiting, as the means of evacuating a surfeited stomach; the contraction of the pupils of the eyes, as a means of decreasing the intensity of light admitted into the eyes; the reflex contraction of the sphincter of the rectum, as a means of retaining the contents in the intestine; all these, and other, phenomena belong to this category. Con-

sequently, the reflex in its typical form is a useful act (serviceable to the body), and invariably results from some external stimulus acting on a definite part of the apparatus which we call the sensory surface of the body.

Let us now turn to the class of activities immediately above, i. e. to the activity of the lower and the higher sense organs. Contemplate quite objectively the effects of this activity. What do we see? An animal uses its senses of smell, hearing, vision and touch to protect itself from cold, hunger and enemies. But the eyes, the nose and the skin by themselves do not serve as the immediate means of attaining these objects; they merely direct the animal in these acts; the object itself is attained by means of a great variety of movements. Hunger compels the animal to go hunting, while the sense organs direct it in the course of the hunt.

If you only think of the immense number of those activities which are commonly designated by the general terms of instinctive acts and acts of self-preservation (these acts are so well-known that there is no need to give any examples),—you will see the same phases as in the reflex: the beginning of the act is a stimulation of a sense organ (the sensations of hunger, thirst, cold, excitations of the ear, eye, and nose) its end is a movement. As in the case of reflexes, this movement is useful for the body by serving its needs and by protecting it against adversities. The only difference between the reflex-effects in the examples mentioned above and in the instinct of self-preservation is that the former serve only partial purposes of the organism (they close or clear a duct, constrict or enlarge an orifice such as the pupil or the glottis, reep clear and transparent those organs which must be in that state, such as the cornea which is kept transparent by the act of blinking and by the secretion of tears),—while the latter (i. e. the activities resulting from hunger, cold, visual, olfactory and auditory perceptions) serve for the general benefit of the body, protecting it as a whole. This difference is obviously quantitative and by no means essential; at the same time, no one will deny that the feeling of self-preservation leads to actions endowed with all the features of psychical acts. Let us, for instance, take the case of a man who is running for his life because he has just seen a frightful sight or heard a frightening sound. The act includes, first, a visual or auditory perception, secondly,—the consciousness of danger, and lastly—an expedient movement; in other words, the act includes all the elements of reasoning, inference and rational behaviour; and at the same time it obviously belongs to a lower class of psychical acts endowed with the properties of a reflex. Consequently, there is no difference between the reflexes and the lower forms of the activity of the sense organs from the point of view of their external manifestations and their value for the body.

But the acts which we are comparing consist, not only of a beginning and end, but also of a middle part, and it is possible that it is just that middle part which makes their comparison impossible.

Indeed, an analogy between,.say, the act of blinking and that of running from fright may at the first glance seem ridiculous. Nothing but movement can be observed in blinking,—whether in oneself or in others; while the middle of the act of fright (if we regard it as a reflex) includes a series of psychical activities. So that when we take for comparison two acts belonging to the

extremes of the series, the difference between them is really very great. But a very simple experiment will show that even the act of blinking includes all the principal phases,—even the middle one,—of the act of fright described in our example. Puff gently into the eye of an animal or a man; the eye will blink more strongly than under normal conditions, and the man will feel the puff on the surface of his eye. This feeling will be the middle phase of reflex blinking. The middle phase occurs even under normal conditions, but it is so faint that we are not conscious of it. Consequently, the sensation is the middle phase of every reflex, even the most simple and elementary ones. Observations justify the belief that in a normal non-decapitated animal there are probably no reflexes which are not accompanied, under certain conditions, by definite sensations. Therefore, the presence of sensation, as the middle phase of a reflex, is a rule, and in this respect comparison of the activities of the higher sense organs with reflexes is perfectly justified from a general point of view: inasmuch as the middle phases of both acts belong to the category of sensations, these acts must be allied in their nature. Such a comparison becomes still more justifiable if we classify all known reflexes into groups, according to the part played in them by sensation and according to their complexity. In the first respect, reflexes form two large groups. In one group, consciousness does not seem to play any important part in the process. Such a reflex may take place even in a decapitated animal or in a man in a state of unconsciousness. These are the simplest forms of nervous acts; they fully answer their purpose of serving the body, even if their respective mechanisms are so organized that they invariably give the same unchanging expedient movement. With the other group of reflexes, consciousness is an indispensable factor which determines all the stages of the act in succession,—its course and end. Take, for instance, the evacuation of the bladder and of the rectum brought about by the desire to urinate and defecate; or the periodical introduction of food and drink into the body in response to hunger and thirst, etc. The total absence of consciousness would render these acts impossible. Consequently, consciousness is really an indispensable factor in these acts. The difference between the elements of consciousness in these reflexes, and the middle phase of the lower forms of activity of the sense organs, is very small, because the rôle of sensations in movements is very clearly expressed in this activity. As we have already said, our eyes, ears, and nose are merely regulators of our movements. Consequently, in this respect also, there are gradations from the lowest forms of reflex actions to the activity of the sense organs and there is no essential difference between the two.

Gradation is also observed in respect of the complexity of feelings, or rather in respect of their analysability. They begin with almost unconscious manifestations (e. g. the sensations connected with blinking and with the normal secretion of tears, kinesthetic perceptions, normal gastric sensations) and gradually pass to sensations of which we are fully aware, but which vary only in intensity (such as the feeling of irritation in the throat during coughing, or in the nose while sneezing, the inclination to urination and defecation, the sensations of hunger, thirst and cold). Further we observe, in the sphere of the lower sense organs, a differenciation of sensations

which is manifested in the fact that a change of the impulses acting upon the sense organ leads to a change, not merely in the quantity, but also in the quality, of the sensation. These changes, in their turn, influence even the character of the motor reactions.

Everyone knows that it is possible to distinguish different tastes and smells, and that our reactions depend on the quality of these tastes and smells; a disgusting taste or smell makes us vomit, a pleasant one calls forth a smile of satisfaction. Everyone knows, further, the specific grimace which we make when we taste something acid. This changeability of the sensation according to the change of the external impulses which call it forth is especially great in the higher sense organs. It is rightly said that no two grains of sand in the whole world are absolutely alike; this is a proof of the tremendous powers of our eye in this respect. How can this be explained?—Anatomy shows us that the different capacities of the sense organs are accompanied by an immense difference in the structure of these organs. The sensory surface of those organs which are incapable of differenciating sensations is very simply organized; that of the nose and mouth is more complicated; while the structures of the eye and ear are so complicated that many of their details are still a mystery.

The reader sees that up to now my argument is based on perfectly acceptable analogies. Let us now see whether such an analogy is permissible when our study of the activity of the higher sense organs takes us beyond the borderline between instinctive acts of self-preservation, and those supreme actions which include the participation of will. It is owing to will that the actions of man are not machine-like, especially in the higher stages of psychical development; so that it might be supposed that will rules (or, at least, has its origin) only in the very highest spheres of psychical life. To settle this matter, let us take the reflex of blinking. Suppose something has got into the eye of a man. Can the ensuing irritation of the mucous of the eye, an irritation which normally leads only to blinking,—elicit voluntary actions, i. e. actions which are usually ascribed to will? Yes, undoubtedly. To begin with, it can call forth conscious and rational movements with the purpose of getting rid of the irritating agent; those movements are the products of active will. On the other hand, it is possible that the man will conquer the contraction of his eyelids (i. e. the augmented blinking reflex) and keep his eyes open, because he believes that it is better not to meddle with the eye. It is easy to imagine similar examples for the reflexes of coughing, sneezing, urinating etc. It is clear, therefore, that as far as will is concerned there is no essential difference between reflexes and movements due to the activity of the higher sense organs, and that will can also be awakened by sensations of a lower order,—though of course its forms of expression are in this case not so varied.

We thus come to the conclusion that even in respect of the only agent which is foreign to them, the reflexes and the lower forms of activity of the sense organs differ only quantitatively.

On the basis of the facts stated above, it is now easy to conceive three stages of gradation corresponding to the three phases of reflexes.

In so far as reflxeses are concerned, the natural stimuli bringing about

the phenomenon are extremely uniform; this stands in accordance with the comparative simplicity of the purposes of reflex movements, e. g. to close an inlet and thus to prevent a foreign body from entering it, to temporarily retain in a vessel its liquid contents to clear a duct, etc. Accordingly, the structure of sensory surfaces is often such as to make them susceptible only to mechanical contact. Of course, even in this case we can conceive a large variety of stimuli, since not only solids and liquids, but also gases, can come into mechanical contact with the sensory surfaces. However, we have here in view, not this kind of uniformity, but the fact that the effect will always be the same, no matter what foreign object gets into the eye,—be it a particle of stone, wood, glass, or iron; be it alkali, acid, ether, chlorine or any other liquid or gaseous substance.

On the other hand, in the sphere of the sense organs we observe, with the ascent from taste to vision, a gradual increase of the variety of those natural stimuli which excite them. For instance, the same particles, if they act upon the eye visually, may differ widely from each other; the eye will see the difference not only between particles of iron and of wood, but will see it even between any two particles of the same substance. Of course, this does not change the nature and mode of action of the external stimuli themselves, no matter whether they call forth a reflex or an activity of the eye (i. e. the highest of all organs of senses). They all produce upon the sensory surfaces of the body a physical, chemical or mixed action; and they are all effective causes of the phenomenon.

As to the middle phase, we can unhesitatingly say that it depends on the structure of the respective sensory organ. This is a logical consequence of the data given above. But the significance of the structure of the sense organs for the beginning and end of the act demands some explanation. From our every-day experience we know that the impressions from our sense organs do not reach our consciousness unless we pay attention to them. This does not mean, however, that the first phase does not always lead to the second; such a conclusion would be grossly wrong. The study of inattention shows that in such cases, either our consciousness is attracted by some stronger image, or the eye and ear are prevented by certain conditions from looking and listening. If a man is busy thinking or doing something, he may not notice his desire for urination, his hunger, or a mote in his eye and so forth; but as soon as he begins, as it were, to give ear to these voices, he becomes distinctly aware of these feelings. Consequently, there is a constant relationship between the first and the second phase. As to the relationship between the second and the third phase, it may be briefly expressed in the following manner:—the feelings always serve as regulators of movements; in other words, the former call forth the latter and alter their intensity and direction. In those cases when the stimulation of the sense organ leads to a movement, this relationship between the second and the third phase is evident from the data stated above. With the lower forms of reflex actions, this regulation can be only quantitative, perceptions being in this case incapable of qualitative variations; while with the higher forms of reflex actions, regulation may be both quantitative and qualitative. But what about those cases when the

stimulation of a sense organ produces the middle phase, but does not manifest itself by any external movement? Is not such an absence of the third phase a distortion of the very nature of reflex acts? Nothing of the sort! In these cases the sensation is followed by the stimulation, not of the motor organs of the body, but of inhibitors, so that the third phase does not lose its significance as a regulator of movement. It is easy to understand, indeed, that the property of *moving independently*, which is so typical of animals, would be absolutely impossible if there were no inhibitors in our body, or if these inhibitors could not come into play through the stimulation of sense organs (i. e. of the only possible regulators of movement). The actual existence of these inhibitors has been definitely proved by physiology; and it is these inhibitors that are responsible for the seeming absence of the third phase. The control of these inhibitors is commonly ascribed to volition.

As to the gradation in the character of the third phase, it can be defined as follows. In the lower forms of reflex actions, the motor mechanism is present at birth (a new-born child can suck, cough, sneeze, and so forth), while in the case of the higher forms of our series, in man, at least, the third phase is acquired by learning; such are, for instance, the act of walking, the use of our hands for grasping weapons or levers, the movement of our eyes in the process of looking, and so forth. Although such movements are acquired at a very early age, when there can be no question of intellect, and although in some animals they are even inherited, yet, in the case of man, the difference between the two forms is obvious. We shall see later how great this difference is; at the present moment we must only point out, that there really exist reflexes which can be trained, i. e. can be acquired by learning. For instance, it is a well known fact that new-born children may be taught to suck and to urinate at a definite time and under definite conditions. Consequently, the acquisition of movements by learning is not limited to movements of higher order alone. It remains for us to say a few words about the general significance of the third phase of the reflex. We have already seen that this third phase is an expedient movement in the lower forms of reflexes, i. e. it serves some special purposes of the organism; in the higher forms, it serves for the general benefit of the body as a whole.

Consequently, *it is absolutely impossible to imagine any essential difference between the reflex actions of the body and the effect of lower forms of the activities of the sense organs, the difference being purely quantitative.* It follows that *the lower forms of psychical phenomena which result from the activities of the higher sense organs are allied in their nature to somatic nervous processes.*

If we accept Locke's view of the sources of psychical life,—a view which is shared by almost all modern psychological schools,—we have to admit that *the somatic nervous processes are allied to all those psychical phenomena which result from the activities of the sense organs, even to the highest of them.* But before accepting this perfectly logical conclusion, it is necessary to remove a wide-spread prejudice standing in its way. If

we ask an educated man: «what is a psychical act and what are its external manifestations?» he will immediately answer, that psychical acts are spiritual acts, the nature of which is unknown, and which are reflected in our consciousness in the form of perceptions, images, sensations, feelings, and thoughts. If you consult an old text-book on psychology, you will see the same: psychology is a science that studies perceptions, images, feelings, thoughts, etc. The conviction that only the *conscious* can be *psychical*, i. e. that a psychical act begins from the moment when we become conscious of it and ends when it passes out of our consciousness, is so deeply rooted in human minds that the word «psychical» is used in this sense even by educated people. Under the influence of this habit, I have also called «psychical element» the middle phase of the reflex; I have even spoken of it as of a «psychical complication of a reflex process»; but I had, of course, no intention whatever to separate the middle phase of a whole act from its beginning and end. It might be objected that this is true only of the lower, sensual, forms of psychical life, while all other psychical acts take place exclusively in our consciousness. For how, otherwise, could man think with his eyes shut and his ears stopped, i. e. without using his sense organs? How could a man who has become blind at a mature age think in images and remember everything he has seen? These facts seem to show that the psychologists of former times,—and all the contemporary educated people who follow them,—are right in thinking that the higher psychical acts begin and end in our consciousness.

If this is so, our preceding argument must be false, or at least premature. Fortunately, however, it is easy to show the fallacy of the idea that psychical life begins and ends in our consciousness. If this idea were right, what would be the value of the spoken and written word, i. e. of the external manifestations of thought? What, indeed, would be the value of all the external activity of man, manifested in his movements and generally termed behaviour? It would be the result of the action of the soul upon the body; while from our point of view these phenomena are easily interpreted as the third phase of psychical acts of lower order. The same applies to the immense number of our daily acts, which even the layman explains either as the result of our material and moral environment, or as the consequence of the influence upon us of surrounding people or sensual motives. From our point of view, these influences are the stimuli that call forth our acts and correspond, consequently, to the first phase (or first member) of the lower forms of psychical activities, since they also enter our organism through the medium of our sense organs. In the opinion of those who isolate «the psychical», this would be the effect of matter and body upon the spirit.

Now tell me: what is more sensible,—to carry our analogy beyond the sphere of sensations, on the ground that psychical activities very often resemble reflex actions, at least outwardly (this work would be the more valuable as it has not been performed by the psychologists of former times owing to the absence of physiological data); or to select some form of psychical activity such as in the above examples, and to separate in it the element of consciousness from its source (the external stimulus) and from

its result (the act), thus tearing to pieces a thing which nature has made indivisible, merely on account of its external appearance? Shall we isolate the middle of an integral whole, calling it psychical, and opposing it to the rest of this whole, calling it material?

It would not be so bad if this unnatural method of dissection had been chosen only after exhausting all means of keeping the integrity undamaged. Unfortunately, the first thing which was actually done was to dissect the whole, and after this, to try and piece the fragments together. Many were the ways invented for doing this. Some people said that psychical and material processes merely coincide, and are not causally related to one another; others asserted that the nervous system is the organ for only the material manifestations of spirit; still others maintained that the spiritual and the material world are different, but are not opposed to each other; and so forth. It goes without saying that all these hypotheses are merely logical (or even dialectical) subterfuges which can at best satisfy a speculative mind, but cannot explain the undeniable fact of the mutual interaction of body and spirit; whereas from the point of view of the relationship between nervous and psychical processes these facts are perfectly clear.

Consequently, both science and common sense urge that the analogy between psychical and nervous processes must be carried beyond the sphere of purely sensuous acts; this should be done even if one half, or three quarters, or even nine tenths of the manifestations of higher psychical activities did not outwardly resemble the reflex phenomena. But we know that this is not the case: all psychological schools, with very few exceptions, accept Locke's view that psychical development is entirely rooted in the activities of the sense organs. Here again, therefore, we have a vast field for analogy.

But what does psychology as a science gain from such analogies? It gains what is usually gained by comparing something *complicated an unknown* with something *similar* but more simple and better known. It gains what science always gains from analogy. Indeed, everyone knows the scientific value of the method of analogy: for instance, it is to this method that we owe the brilliant theories of physics which have identified heat with light, and both heat and light with the purely mechanical movement of particles.

In our case, analogy is the only possible means of examining psychical facts and of treating them analytically. It is true that physiology possesses a more direct method of studying psychical acts by examining the structure of the sense organs and comparing the anatomical data thus obtained with the character of the sensations produced by these organs. It is evident, however, that this method is only one of the many ways by means of which physiological data can be used in the study of psychical phenomena; this method can only establish a relationship between the mechanism of the sense organs and certain aspects of the second phase (second member) of the reflex. What I propose is a thorough study of all the sides of *entire* reflex acts, including their beginning, middle and end.

The reader has undoubtedly understood that the object of this chapter

is to show that the analytical study of psychical phenomena is the business of physiology. The reasons for this having been sufficiently clearly stated above, it now remains for us only to sum up what has been said.

All psychical acts of the reflex type should be studied *purely* physiologically, because the study of both the beginning and the end of these acts (i. e. of sensory excitation and of movement) lies within the province of physiology; and so does their middle phase (i. e. the psychical element in narrow sense of the word), inasmuch as it is very often (and perhaps even always) an integral part of the whole process, and not (as it used to be believed) an independent phenomenon. In a more general form, this idea may be put as follows:—it is indispensable that the science which deals with the nature and manifestations of psychical acts should study the relationship between psychical phenomena and the factors determining them on the one hand, and the relationship between psychical acts and their outward manifestations on the other hand.

In accordance with this program, those psychical acts which apparently differ more or less sharply from the reflex type, also lie within the province of physiology. This is so because the experience of all sciences (or at least that of the natural sciences) shows that the cause of the deviation of a phenomenon from its cardinal type should first of all be sought for, not in the interference of new factors, but in changes of the relationship between factors already known. This principle is especially important when the phenomenon dealt with is very complicated, as psychical processes undoubtedly are. Of course, the examination of a phenomenon by this method may ultimately lead to nothing; it may even happen that the results will be contrary to expectations. Nevertheless, this is the only rational, and consequently the only right, method.

Nobody will doubt that the study of psychology will henceforth fall into good hands, for modern physiology is characterized by its sound principles and good judgement. Being a science concerned with real facts, physiology will begin by separating psychological reality from the mass of psychological fiction which even now fills human mind. Strictly adhering to the principle of induction, physiology will begin with a detailed study of the more simple aspects of psychical life and will not rush at once into the sphere of the highest psychological phenomena. Its progress will therefore lose in rapidity, but it will gain in reliability. As an experimental science, physiology will not raise to the rank of incontrovertible truth anything that cannot be confirmed by exact experiments; this will draw a sharp boundary-line between hypotheses and positive knowledge. Psychology will thereby lose its brilliant universal theories; there will appear tremendous gaps in its supply of scientific data; many explanations will give place to a laconic «we do not know»; the essence of the psychical phenomena manifested in consciousness (and, for the matter of that, the essence of all other phenomena of nature) will remain an inexplicable enigma in all cases without exception. And yet, psychology will gain enormously, for it will be based on scientifically verifiable facts instead of the deceptive suggestions of the voice of our consciousness. Its generalizations and conclusions will be limited to actually existing analogies, they will not be

subject to the influence of the personal preferences of the investigator which have so often led psychology to absurd transcendentalism, and they will thereby become really objective scientific hypotheses. The subjective, the arbitrary and the fantastic will give way to a nearer or more remote approach to truth. In a word, *psychology will become a positive science.*

Only physiology can do all this, for only physiology holds the key to the scientific analysis of psychical phenomena.

II

Criticism of the data which must serve to build up psychology. The general criteria for distinguishing psychical reality from psychical fiction. Classification of psychological problems.

Having shown who must investigate the problems of psychology, I shall now discuss the methods of this investigation; and my first task will be to settle what facts may be used to build up psychology.

The data usually serving for this purpose are mostly taken from psychological introspection and from the observation of other people in the course of our daily life; the sum of these data has received the name of practical or everyday psychology. The task of the psycho-physyologist is, as yet, very modest; therefore these data are, for the time being, amply sufficient; moreover these data are highly accessible and handy, and consequently most convenient to deal with.

To my mind, it would be at present not only useless, but even harmful to extend psychological investigation beyond the limits of these data. The experience of all positive sciences, as well as that of daily life, has shown that the reliability of inferences of every kind does not (other things being equal) depend so much upon the abundance of material as upon the degree of its elaboration. We shall presently see that the degree of elaboration of the psychological data at our disposal is not very high.

If we examine more closely the data collected by means of introspection with comparatively little help on the part of science (mostly not by specialists in physiology, but by people who thought on psychical phenomena more persistently than other people did), we shall see that these data are the result of self-observation. Practical or every-day psychology determines, on the basis of well defined differences, not only the species, but also the genera of psychical phenomena. In other words, it ascertains the objects of cognition and classifies them. Moreover, practical psychology notes the fundamental conditions which determine the origin, the course and the end of psychical acts, in other words it «studies» psychical phenomena. The final stage of the work of practical psychology is the elaboration of a theory, or several theories, explaining psychical phenomena.

Let us give some examples.

Even an ignoramus can distinguish between the psychical act of looking at a thing, and that of thinking about that thing, as expressed in the words «*to see*» and «*to think*».

No great education is needed to realize the existence of a connection between the actual seeing of an object and the reminiscence of that object.

One step further brings us to the «concept», i. e. to the consciousness that related objects possess certain common features.

In addition to these typical elements of every mental act, we are conscious of the existence of a peculiar kind of psychical processes known under the general name of feelings (e. g. the sensations of pleasure, aversion, anticipation, fear, joy, grief, anguish, sorrow, enthusiam, and so forth). Consciousness divides them into different groups, — species and varieties,—according either to their intensity (emotions and passions), or to the degree of their clarity (calm and ardent feelings), or, finally to the character of the general reactions called forth by them in the body (excitement or depression). This classification is on the whole satisfactory, though its details are of course inadequate, since all immediate observation is superficial. Everyone knows, indeed, that the sensuous feeling is more impetuous and subjective than the concept or thought, and not so accessible for analysis, and that we often cannot describe a sensuous feeling in actual words, even if we are cleraly conscious of it.

These two fundamental faculties (thought and sensation) include all the purely spiritual sphere of man (if we exclude external manifestations, i. e. behaviour); and we must admit that in the determination of the genera and species of psychical processes, practical psychology often proves to be a very fine observer.

Practical psychology has also been successful in the study of the conditions which determine the origin of psychical phenomena. It is enough to mention *memory*, as the *sine qua non* of our entire psychical life; *attention*, without which no act can reach our consciousness; the analysis of factors which stimulate recollections, determine the association of ideas, the intensity of sensations, and so forth. We may also include the classification of the relationship between diverse psychical acts and human behaviour, according to which practical psychology distinguishes instinctive and invariable acts from rational and conscious ones,—voluntary acts from involuntary ones, etc.

So far, the practical psychologist bases his work on observation, and his only fault is an excessive credulity in the voice of his consciousness; he sometimes forgets that most instructive fallacy of the human mind,—the idea that the sun moves around the earth. But his consciousness goes further: it attempts to explain the origin of psychical acts, i. e. it begins to theorize. Ask any member of the so-called educated class (if he is not a scientist) to give you his notion of the origin of thoughts and feelings; and he will probably tell you that our capacity to think is due to our *mind*, and our capacity to feel is due to our *emotionality* or sensitivity. Some people may add, even nowadays, that the head is the seat of mind and the heart is the seat of feeling. If you further ask him what he knows of the relationship between thoughts and wishes on the one hand, and human behaviour on the other, he will probably answer you that man is free to act according to his thoughts and wishes or against them; hence, our thoughts and wishes are separated from behaviour by a *free force* which is called volition. He will say that *imagination*, which combines (sometimes most phantastically) diverse concepts together, is also the result of a special *explanatory* force.

Memory, which up to that moment was an undefined condition necessary for the retention of perceptions, also becomes a special force: so does *attention*, and so on. It turns out that the educated man *explains* the various aspects of psychical phenomena in exactly the same way as a savage explains those natural phenomena which he does not understand. The only difference is that the imaginary agencies postulated by the educated man are *forces*, while those postulated by the savage are spirits.

It follows from this that a sharp line must be drawn between the concrete results of psychological observation and all that bears the trace of theoretical speculation or tends to get at the essence of the matter. Unfortunately, it is not always an easy task to distinguish these two categories: on the one hand, theories of practical psychology are often based on actual facts, and on the other hand these theories may, at the first glance, seem perfectly plausible and logical even when they are based on mere fiction. Such errors arise mainly, if not exclusively, from the wrong habit of mistaking rhetorical imagery for psychical reality, and forgetting that our speech is figurative and symbolic, i. e. they arise from the habit of confusing the nominal and the real, the formally logical with the actually true. To show the reader how such errors may be eliminated, I shall give a few examples.

The psychological doctrine of volition is a good example of the misinterpretation of real facts. The following facts underlie this theory. When a man conceives a desire, he may in one case satisfy it by acting accordingly; one would say he is obeying the voice of his desire. In another case, however, the same desire in the same man (under the influence of some other determining factors, or owing to a whim) will not call forth any action. And in a third case, it may even lead to a response which is in disaccord with the desire, or is even diametrally opposed to it. In the last case, the character of the reaction may differ very widely in separate individuals, and even in the same individual under different conditions. Nevertheless, this variability of behaviour is limited in normal people; a reaction which exceeds these limits is an act of insanity, an irresponsible act of uncontrolled volition; besides, the fact that behaviour can be opposed to desire is a most striking and convincing argument in support of the theory of volition. To give this theory the greatest possible advantages, I shall even intensify its facts by rejecting the rôle of determining motives; thereby volition is made the sole agent of behaviour, and becomes still more independent. Then our example may be formulated in the following way: in the first case, the desire leads to an expedient response, in the second there is no response at all, and in the third the response is opposed to the motive.

If we regard these facts objectively (for this is the only scientific method of treating phenomena), we will see nothing new in them except the elements just mentioned. It is therefore not extravagant to compare the foregoing psychological example with certain phenomena of the physical world. As we know, fire can either heat objects or not heat them (e. g. thawing ice or snow); it can even cool them if there is a rapidly evaporating liquid between the fire and the object. The causes of these phenomena are well known, and nobody will think of ascribing them to the capacity of the fire ot changing its nature, or to the action of free agents; but if we assume

that the intermediate conditions determining the effect are unknown,—and the only visible facts are the fire and its effect,—the analogy between these two examples will not sound ludicrus. The fact is that the conditions determining the course of our behaviour escape the observation of the layman; and this leads to the tendency to postulate the existence of a special agencies (which are supposed to be responsible for the phenomenon, but really explain nothing), instead of regarding the facts scientifically. Would it not be more natural in all such cases to look for the explanation in the relationship which undoubtedly exists between the cause of a phenomenon and its result?

From this point of view, *all the theories of practical psychology*, as long as they are based on actual facts, *deserve attention no less than the unestablished causes of phenomena.*

Such an approach to the facts does not predetermine our opinion in any way, and therefore cannot impair the explanation of the facts; indeed, this system, if we adopt it as a principle, will at once eliminate a host of puzzles which stand in the way of the understanding of psychical facts from the point of view of their reality.

To illustrate the abuse of figurative speech, let me cite some passages from psychological treatises on human nature.

1) Man, as an independent part of the universe,—as a totality in itself,—may be contrasted to the rest of the universe; man may be isolated from everything which is outside him. In this sense man is an individual, an integral whole, a unit.

2) When we regard the sum of phenomena taking place in man, we see that man is composed of two principles, which are not subject to the same laws.

3) As a corporeal being, man is subject to the laws of the material world; as a spiritual being, he is not subject to them.

4) In his corporeal aspect, he is the slave of matter; in his spiritual aspect he is its master.

5) Man not only has power over his body and control over his behaviour; his power extends even to his thoughts, desires and passions.

6) In this sense, man is an independent being; his actions are determined by himself.

At the first glance, these maxims seem simple, plausible and substantiated by a number of facts of social life; if we read them one after another, they even sound logically consecutive, provided it is possible to define human nature by a series of aphorisms. But if we examine the real essence of these aphorisms and try to see whether their words conform with facts, the absurdity of most of them becomes evident: the conception of man as an indivisible whole, an individual, a unit, judging by the meaning of these words, cannot be anything but a conclusion drawn from concrete facts of his *material* existence as an *individual within nature.* It follows from this that whenever man is spoken of as an indivisible totality, a unit, the word «man» denotes the physical, material nature of *man*, and nothing else. From this point of view, all the above aphorisms, having the word «man» as their subject. are obvious absurdities; the second maxim, for instance, is equiva-

lent to the following impossible equation: the bodily form of man=itself+his spirit. The other maxims would become too absurd to be expressed in words.

It might be possible to apply the word «*man*» to the combination of body and spirit; but in that case we schould have to assume in all the maxims that man=soul+body. From this point of view, the first maxim would become meaningless; and the third and the fourth would be absurdities, since *one and the same thing* cannot be at the same time subject to a law and exempt from it: it is impossible to be both the sovereign and the slave of matter. The fifth maxim is nothing but a figure of speech, because power implies the existence of at least two persons,—the one who rules, and the one who obeys; consequently, in our example, it would be necessary to break up the sum which consists of spirit and body, tearing away from it the body and even a part of the spirit as subordinated to the rest of the spirit. This risky operation has often been performed upon poor human nature. It is fortunate that the operation is purely speculative and never goes beyond words.

The possibility of speculative blunders of this sort is due to the fact that since words are symbols of objects or of relations between objects, man can mentally perform the same operations upon words as he does upon actual objects of the external world, and apply the results of such mental operations to the sphere of reality.

Thus, extreme generalization and abstraction have led psychology to the use of such empty terms as «being» or «the essence of things», etc., as if these words denoted actual scientific realities. Sometimes the human mind is misled by the easy disintegration of speech, and accepts unreservedly the possibility of a similar disintegration of the corresponding material objects; this is the cause of the frequent confusion of the logical and psychological aspects of thought, and of the formally logical and the true. Finally, there are cases when the thinker, in a boundless frenzy of mental speculation, endows some innocent grammatical form with all the properties of psychological reality; take, for instance, that wide-spread and naive quibble,—the conception of the «Ego». Of course, all these errors are possible only because the scientifically-untrained mind has no criterium for recognising psychological realities, and applies purely nominal facts and deductions to the sphere of reality without sufficient control. It is different in the case of the natural sciences, though their development is also due to the use of words giving shape to every inference and generalization; for here, the specific attributes of every material reality are firmly established, and quibbles are impossible.

It is obvious that in the field of psychology also, words will stop being a source of errors as soon as science has clearly and definitely established the general attributes of psychical realities.

Consequently, the problem of how to criticise the statements of practical psychology is reduced to the question of what is meant by the term «psychical reality»; for only psychical realities may and must serve as the subject-matter of psychological research.

I shall divide the discussion of this problem into two parts; in the first

I shall try to show what psychical realities *should be* studied; in the second—
—what psychical realities *can be* studied.

When comparing nervous and psychical acts, I did my best to show their close relationship, with the purpose of proving that the knowledge of the former can help us to understand the latter. This comparison was based almost exclusively on the external manifestations of the separate elements of these two classes of phenomena; however, their external resemblance was accepted as a proof of the existence of a similarity of efficient causes. In other words, since the sum of material processes in a given part of the nervous system forms the substance and essence of a given nervous act, it follows that only the material side of the psychical act can be real. This would make psychical reality most definite and tangible; the difference between psychical reality and psychological fiction would become as distinct as the difference between light and air. Unfortunately, however, our knowledge of nervous processes,—even the simplest ones,—is almost nil[1]. We know the material structure wherein the nervous phenomena take place; we know the changes which they undergo under the influence of various natural conditions; we can artificially change their character; we even know what rôle is played in them by the different parts of the whole structure; but the nature of the processes that take place in the nerves and nerve-centres is still a mystery. The solution and detailed explanation of this side of nervous and psychical processes belongs to the distant future; and our research must be limited to the study of their external manifestations.

Nevertheless, *we shall have to retain, as a principle, the conception of the psychical act as a process or motion, which has a definite beginning, course and end.* This is necessary, in the first place, because this conception is the limit of permissible abstraction from the manifestations of psychical activity,—(a limit within which we still deal with reality); in the second place, because this conception is a simple and convenient test of facts; and lastly, because it determines the range of problems confronting psychology as the science which studies psychical realities.

The conception of psychical activity as a process or motion is merely a further development of the idea of the relationship between nervous and psychical acts; we must accept it as an axiom, in the same way as modern chemistry accepts the indestructibility of matter. Once this axiom is accepted, it becomes the duty of psychology to regard every form of psychical activity as a process or motion. If in this manner it is possible to explain all the typical forms of psychical activity,—beginning with the simplest ones,—e. g. to explain the various aspects of feeling and thought, including their external manifestations, this will show that our point of departure was right. In that case, the explanation of anything that is too complicated to fit the accepted principle will have to be unhesitatingly left for the future.

The general character of the problems of psychology, as determined by

[1] N. B. It is important to distinguish the terms «nervous process» and «nervous phenomenon»; we shall apply the latter to the external manifestations of nervous activity, while the former will indicate the molecular motion which takes place in the nerves and nerve centres.

our principle, is that psychology should follow the example of her sister science, physiology, and limit her research to the question of *how* a given psychical process (manifested in an emotion, feeling, image, voluntary or involuntary movement, etc., or leading to a thought) takes place.

All our means of investigation are now at our disposal. We can set to work. But what shall we begin with? What side of the immense sphere of psychical life shall we consider first? Perhaps, the best plan is to take the psychical activities of an individual man for a comparatively short period, say for one day, and to study their manifestations as closely as possible? Everyone knows the picture. If we consider only the reflection of psychical life in our consciousness, it appears to us as a sort of magic lantern with ever-changing images; every image lasts a fraction of a second, or a second at the most, or sometimes passes as a flitting shadow, and is immediately followed by the next, without any empty interval between. It is a continuous chain of successive perceptions, emotions, thoughts and images—visual, auditory, or otherwise: a chain so closely linked that we can discern the intervals between the links with great difficulty, and only in exceptional cases. This chain extends throughout the whole day, from the moment we wake up to the moment we fall asleep. Even sleep does not always interrupt it, and the images of the day are replaced by dreams.

If we consider the external factors which influence man during the day, and compare them with the products of his consciousness, we can find, in some cases, a more or less distinct causal relationship between the two; this relationship is obvious, for example, when the man is thinking of something which he has seen, heard, or felt directly. But in most cases, i. e. for most links of the chain, no direct relationship can be detected, and the products of consciousness seem to be spontaneous. The relations between the products of consciousness and the phenomena of the motor sphere are no less complicated; all day, man performs an uninterrupted train of bodily movements usually following each other without perceptible intervals; some of these movements seem automatic and purposeless, though they are undoubtedly related to psychical processes (facial expressions and gestures); others are unquestionably acquired movements, adequately serving the needs that have called them forth, yet even they are more or less automatic (e. g. the trained movements of the artizan); some are direct manifestations of what is going on in our consciousness at the moment (speech); others, on the contrary, arise without any conscious motive (habitual movements). The whole picture is without beginning or end, and is too complicated to serve as the starting point for the investigation of psychical processes[1]. The investigator who begins with it will at best come to the dilemma of whether psychical life is one single uninterrupted act which continues for our lifetime with comparatively short breaks of consciousness during sleep,—or whether the separate links composing the chain have once been disconnected acts of the body.

Fortunately, this confusion cannot last long. It is easy to prove that

---

[1] Nevertheless, Herbart and some other German scientists have taken this picture as their starting point and are trying to disentangle it.

only the latter view is correct: to do so, we have but to observe a period of activity lasting longer than one day, and we will see that the tiresome routine of our habitual psychical life is at times broken by a new image, sensation, or thought expressed in words, etc. Upon investigation, this newcomer proves to be a result of the day's experience,—an impression produced by meeting a new person, or by a thought read in a book, etc. The comparison of the psychical activity of the educated and the uneducated man is still more instructive: that of the first one is rich in images and colours, that of the second one is centered chiefly on the needs of daily life. Take another step down,—and you stand before the consciousness of the child,—a canvass upon which, as we know, the outer world and education embroider their designs.

It is surely obvious, therefore, that the daily chain of psychical activities of the adult is the result of the connection of separate acts, each of which is formed individually at a given moment of our life.

This conclusion clearly shows that the daily picture of the psychical life of a man cannot be chosen as the initial object of psychological investigation. Still, a glance at it is useful, for it leads us to the following classification of the problems of our science:

1) *Psychology must study the history of the development of the separate elements of the picture,*

2) *it must study the manner in which these separate elements are integrated into a continuous whole; and lastly*

3) *it must study the mechanism, by means of which psychical activity is resumed after a break of consciousness.*

To put the above in a more scientific form, psychology must study:

1) *the history of the development of perceptions, images, thoughts, emotions, etc.*

2) *the modes of combination of all these species and genera of psychical activities with each other, and all the results of such combinations* (in must be born in mind, however, that the word «combination» is used here merely as an image),

3) *the conditions for the reproduction of psychical processes.*

The phenomena forming these three groups have for long been the subject of all treatises on psychology[1]; but hitherto, the term «psychical» has been synonymous with «conscious», i. e. the psychologist disintegrated the whole natural process, excluding its beginning (the study of which in its more elementary forms was allotted to physiology), and its end; consequently, our subject matter is different, notwithstanding a certain resemblance of classification. The history of the development of psychical acts must embrace their beginning and external manifestation, i. e. the motor response, including speech. The study of the modes of combination of the elements of psychical activity must also take into account tbe beginnings and ends of psychical acts. The study of the conditions for the reproduction in memory must deal with psychical acts taken as a whole, and not merely with their middle phases.

[1] Our second group includes the so-called association of psychical processes; while the third groud includes the reproduction of psychical processes in memory.

The reader will now be justified in expecting me to give practical proofs of the applicabillity of the above principles for the analytical study of all the chief forms of psychical activity, and if I fail to do so, I merit the accusation of undermining the old ways of science and pointing to new ones, without really proving the fitness of the latter. I shall accordingly apply myself to this task,—but with one reservation.

In the «Reflexes of the brain» I have already attempted to apply these very principles to the study of the chief forms of psychical activity; but as in that book I repeatedly emphasized my intention of studying only the causes of psychical phenomena, those of my present readers who are acquainted with that book may be under the impression that the only thing which can be proved by such a study is the applicability of physiological analogies to the external manifestations of psychical processes. But now that we have established the reasons why psychology, as a science, can deal only with the phenomenal side of psychical processes, this point of view would be wrong. *The whole subject-matter of psychology makes it impossible for this science to be anything but a systematic study of the causes of the various forms of psychical activity.* From this point of view, all the conclusions arrived at in the «Reflexes of the brain», (conclusions, which I still regard as true) prove the applicability of the general principles which I have set forth in the present paper. Consequently, the simplest thing for me would be, in reply to the reader's perfectly reasonable question, to refer him to my previous work. But I shall choose another course.

In the «Reflexes of the brain», I have substantiated my idea that all the main forms of psychical activity may be considered as reflexes, by giving a series of examples of gradually increasing complexity. The following were my main arguments: very many psychological phenomena are obviously reflex; therefore, we are justified in assuming that when a psychical phenomenon does not lead to any external manifestation (movement) or, on the contrary, when the motor manifestation is intensified, we have before us a reflex, with an inhibited or intensified end. In the first case we obtain a thought; in the second—a passionate movement. Once having settled that point, it remained for me merely to define the conception of the voluntariness of actions as clearly as possible, by adducing suitable examples,—and my main task was achieved.

In the present work I am expounding the same fundamental idea, but in a different manner. I will examine the history of the psychical development of the individual man, starting from his birth and trying to establish the main phases of this development. Each consecutive phase will be shown as a result of the preceding one. This approach of the subject will embrace a wider range of phenomena and will give new arguments in support of the hypotheses exposed in my previous work. However, I warn the reader in advance that in the following chapters I shall speak neither of the nature of the so-called association of impressions (it would be more correct to say «association of reflexes») nor of the nature of their reproduction; I have already given my views on these phenomena, and have nothing new or essential to add in this respect. I shall merely remind the reader that an association is the result of a frequent repetition of several consecutive reflex actions,

and the repetition of a psychical act is a photographic reproduction of one and the same process under quantitatively changed conditions of stimulation of the sensory organ.

III

In infants and children, all psychical phenomena are reflex. The gradually developing capacity to think and voluntariness of actions are the only important changes in the succeeding stages of psychical evolution. The analysis of the process of thought in connection with its material substrata shows that no new elements (except those which determine the transition of a concrete perception from a diffused to a more or less differentiated state) enter as components into the acts of thought. Experimental data have clearly shown that the process of differentiation of perceptions begins in infancy and develops without any essential changes even in the stage of abstract thinking. This shows that the faculty of thinking does not necessitate any essential change in the course of the psychical evolution of man. The physiological analysis of voluntary movements, and the application of the data obtained by this analysis to psychology lead to the same conclusion as regards the voluntariness of human actions.

To prove that all psychical activities are reflex, it is sufficient to show that the initial forms from which all psychical life originates, are reflex acts, and that the nature of the processes remains reflex through all the subsequent phases of psychical development.

In dealing with the first part of the problem, the reader must keep in mind that reason demands of all sciences that they should study only realities. From this point of view let us define where and how the psychical development of man begins. The answer is obvious:—psychical life begins in infancy, and can be due only to the various external stimulations of the sense organs. Psychology, as a science dealing with realities, can in no wise depart from this view, because, apart from its responses to sensory stimulations, the new-born child exhibits nothing but purely automatic reflexes, such as sucking, sneezing, coughing, blinking, etc. Nobody will even think of ascribing the silences and screams of a newborn child to changes in his mood (to say nothing of more complex psychical states). Every nurse knows that the behaviour of the new-born child is determined by the state of its intestines or by cutaneus perceptions. This idea is well known to the layman under another aspect: we know that the dependence of our mental state upon our material environment is especially noticeable in children, and that this dependence lasts for years, not days. Moreover, every educated man knows that the contact of the child with the material world surrounding it constitutes the basis of its future psychical development.

Consequently, *the incipient psychical activities must bear resemblance to reflexes, as far as the beginning of the act* (i. e. the sensory stimulation) *is concerned.*

Strictly speaking, the middle phase of the act (i. e. the element of consciousness) is impossible in the new-born child. However, there is no reason why we should not suppose that the stimulation of sensory organs is reflected in the consciousness of new-born children in form of perceptions with all the essential characteristics peculiar to the respective sense organs (the distinctive qualities of pain, light, sound, etc.). Of course, these perceptions

must be still undifferentiated in a newborn child, because it has not yet learnt the arts of looking, listening, touching, and so forth.

Now, what about the end of the reflex act of the newborn child? In the adult, a movement may result from the stimulation of any sense organ, and often takes the form of a very complex act such as walking, or speech. It would seem, therefore, that in the organism of the newborn there exist preformed nervous connections between every sensory and every motor (neuro-muscular) apparatus of the body. This connection may actually exist at birth; but even in the adult it is not so direct and immediate as in the case of the connection between the sense organs and the purely reflex mechanisms; thus, for example, under normal conditions it is not the sensation of light, or the sound itself, that obliges the adult man to walk, but a visual or auditory image. Consequently it is only natural that an infant, having no imagery, does not begin moving its hands and arms under the influence of light or sound. The connection which we are speaking of must be inborn only in those animals which are able to walk immediately or soon after birth; whereas in man it is present at the best in the form of traces. For this reason the excitation of the sense organs of the newborn does not lead to any outward motor responses of the limbs or trunk. The body of the newborn is an inert mass for several weeks. The movements that can be perceived in it at times are seemingly casual and it is impossible to get at their cause.

However, even at this early period there begins to appear in the infant a form of reflex movement of the eyes caused by the action of light. These movements soon form a harmonious system; the infant learns to look., i. e. he learns to converge his axes of vision on an object and to follow the movements of this object with his eyes, i. e. to watch a point of the object by keeping the optical axes converged on it. This in the external, the visible side of the *art of looking*; we must add to this the ability to adapt the eyes to distance—a function which is not outwardly visible, but which is also due to muscular activity. The whole process is of great significance: these movements are acquired by the infant *spontaneously*, with but very little help on the part of its mother or nurse. It is a well-known fact that an infant may develop a squint in the direction of the source of light if it is constantly kept in a room where the light reaches its eyes obliquely. The only explanation is that the source of light attracts the eye[1]. It is obviously a *reflex* action, though our mind is inclined to regard it, even at this early stage of development, as the manifestation of an *instinctive* tendency of the infant towards light. If the action of the light were the same on all parts of the retina, there would be no reason why the eye should change the character of its movement under the repeated influence of light. But the surface of the retina is not all equally sensitive to light: the central part of the retina, lying just opposite the iris (the so-called *macula lutea*) is much more sensitive than the rest of the retina. Therefore, if a ray of light falls upon the macula lutea while the eye is moving, this creates conditions which lead to a change of the mo-

[1] I have often observed the following phenomenon on frogs deprived of the cerebral hemispheres, and having thereby lost all possibility of performing conscious voluntary acts: if the animal is placed with its back to the window and left quiet for several hours, it will sooner or later turn round so as to face the window.

vement of the eye. Only two such changes are possible: the increase and the diminution of the movement. Nature has chosen the latter: the eye stops. This is another instance of *a reflex which results in the inhibition of a previously existing movement.*

The phenomenon may develop beyond that stage. If the light keeps on stimulating the retina, the movement may be resumed; indeed, the study of many reflexes has shown that movements acquire, under the influence of continuous uninterrupted stimulation, a periodical character. The second, third, etc. movements thus produced may repeat all the features of the first, i. e. the optical axes may be again converged on the same or on another point of the luminous image; the whole act will therefore consist of an intermittent series of consecutive movements converging the axes on one or on several points of the object.

But what leads to the final stoppage of the act? It is brought about by the fatigue of the organ of vision, which puts an end to the movement of the eye and makes it possible for the stimulation of other organs of senses to manifest itself in our conciousness?

The movements of the eye which lead to accomodation proceed after the same manner, because in this case again the clearest image of the object is given by only one definite degree of contraction of the muscles which serve for the accomodation of the eye in the given conditions. Probably, the movement temporarily ceases when this degree of contraction has been reached, and is then again resumed.

This explanation of the act of vision corresponds to the facts observed in the adult. Moreover, it is substantiated by a striking analogy in the sphere of spinal reflexes. If a stimulus of moderate intensity is applied to a sensory nerve of the skin, the reflex movement is comparatively strong and durable; whereas a stronger stimulus will first lead, not to a movement, but to a temporary immobilisation in the posture preceding the stimulation.

It is not so easy to explain why the converged axes foilow the moving object. Now for the first time it would really help our argument if we resorted to the notion that there exists in the child an active tendency to retain a moving image within the field of vision. We do not know what this tendency is, or on what physiological phenomena it is based. Yet everybody feels that this fact is somehow related to the reflex described above, which the layman would undoubtedly also describe as an instinctive tendency towards light. The difference between them is the same as between the feelings of hunger in a newborn child before the first feeding and after it. At any rate, it may be assumed (by analogy with similar facts of the subsequent stages of development) that even at this early period visual perceptions begin to be a source of satisfaction to the infant.

Of course, this analysis is not an exhaustive explanation of the whole phenomenon (i. e. of the art of looking), for it does not explain those aspects of the phenomenon which characterise all *movements acquired by learning*, viz. their facility and rapidity, and their automatic accuracy: the accuracy of these movements is not merely an exactitude of motion; it is also a means of attaining an end with the least expense of energy; now, the movements of the eye possess all these features in the highest degree,—not less so, at any

rate, than the coordinated movements of walking, or any other movements acquired at mature age. (For a more detailed description of the act of looking, the reader will refer to textbooks). Suffice it to say that the natural easiness with which even uneducated people perceive the visible attributes of objects, such as their size, outlines, distance from the eye, etc. is acquired only by *learning* to move the eyes.

By analogy with the process of learning in the adult, it is assumed that in the child learning is also based on the frequent repetition of one and the same act, and that we owe to this repetition the facility and automatic accuracy of our acts. But the greater or lesser efficiency of many movements, —their skill and dexterity,—is ascribed to the influence of reason, especially in the case of handicraft work. This influence is obviously impossible in our case. Consequently, physiology has to accept the view that the art of moving the eyes with a minimal effort (a feature which we shall call «*skill*») is due to the inherited motor mechanisms of the eye.

The full development of the coordinated movements of the eyes is made possible by the specific structure of the organ of vision and of its motor mechanism; viz. by the capacity of the eye to move under the influence of light; the perfection of the movement is achieved by the frequent repetition of the photomotor act (the reflex to light).

I have deliberately given a very detailed description of such a small fact as the acquired movements of the eyes, because the development of these movements is typical of all acquired movements, and at the same time includes all the essential elements of the development of psychical activities, notwithstanding the fact that it proceeds without any conscious participation on the part of the persons who are bringing up the child.

In the development of the movements of the eye, we can study the relationship between the material structure of the organ and the products of its activities, the rôle of memory, and the consequences of the frequent repetition of an act; but the gist of the phenomenon lies in the frequent repetition of the reflex, with sensation as the factor controlling the movement.

Now observe the child a year after its birth, when it has learnt to look, to listen and to use its hands for grasping. It is acquainted with a great number of habitual sensations which determine its mood (as expressed in its reflex acts). The vague tendency to light has become a delight in vividly coloured objects; the sight of bright objects gives it pleasure, and makes it move not only its eyes but all its body. The child turns its head towards sounds, stretches its arms out to reach a ringing bell; shouts and jumps for joy, grasps anything within its reach, and puts all sort of rubbish into its mouth. It would seem that the differentiation of auditory and visual perceptions is accompanied by the formation in the central nervous system of new tracts leading from the organs of hearing and vision to all the motor organs of the body, including the vocal apparatus. All these acts cannot be anything but reflex; yet the whole life of the infant at that age is made up exclusively of such acts.

Next come the first attempts of the child to walk and to speak. Are these faculties also acquired by the child automatically? This is beyond doubt, as far as walking is concerned. The help of the person who rears the child

does not go beyond supporting it in its attempts, first to stand, and then to move its legs in an upright posture, and giving it points of support for his body. The essential elements of the act of advancing by alternately moving the legs are acquired by the child independently. But what is the source of this faculty? Ask yourself, why adult people swing their arms quite uselessly, and yet quite rhythmically and regularly, when walking, and why the movements of our arms and feet alternate in the same order as in a quadruped. There can be hardly any doubts as to the right answer: the whole neuro-muscular mechanism of walking must be inherited ready for use; and what we call the learning of the act of walking is not the creation of new complexes of movements, but the adjustment of inborn ones to the surface upon which our walking takes place. It has been shown by physiological analysis that this adjustment is reached through the differenciation of the perceptions accompanying the act of walking over the solid surface which serves as a support for the rest. In those pathological cases when a man is deprived of such perceptions, walking becomes impossible.

The faculty of the child to pronounce a definite word retained in its memory when it sees the corresponding familiar ohject or hears a familiar sound; indeed, the faculty of experiencing any familiar sensation is acquired by the child essentially in the same way as the faculty of walking.

The parrot learns to speak because it has a tendency to express its feelings by cries; so does the child, for in both of them the essential condition for the development of speech is the presence of a connection between the organs of vision and hearing, and the whole motor complex of voice and speech. But this essential condition alone is insufficient, for when it remains undeveloped,—as in the case of the deaf-mute,—it gives nothing beyond a series of abrupt discordant sounds. These sounds can be changed into human speech only under the controlling influence of hearing. It is true that now that the exact mechanism of speech is known, it has become possible to teach the deaf-mute to speak; but in that case the movements of the jaws, tongue and palate are controlled by sight, so that the principle of the process remains the same. It should however be noted that apart from the various conditions which determine the differenciation of the auditory perception and help the development of vocal responses to optical and acoustic stimuli, there exists another important factor: the instinctive tendency of the child to imitate sounds. A sound, or a series of sounds, when it has become differenciated in the consciousness of the child, becomes a standard to which it adjusts the sounds of its own voice, and it will not be satisfied until the imitation is a perfect reproduction of this standard.

We do not know the physiological processes underlying this faculty. But as a rule imitation is a characteristic feature of all human beings without exception. It is present at all ages and plays an important rôle in the adult. All social life is based on imitation, and the formation of the national character is due to it in a great degree. Imitation is the cause of the gregariousness and conventionality of many human acts; general imitation characterises the human species just as optico-motor imitation characterises the ape, or acoustico-motor imitation characterises birds. On the other hand, it is inevitable that the child should adjust the sounds it produces to the

standard sounds it hears. The following facts make this quite evident: under certain conditions, the excitation of the higher sense organs exhibits an irrepressible «craving» to take on the form of sounds or words (the word «craving» characterises the feeling by which this phenomenon is expressed in our consciousness); the child is thereby obliged to perform perfectly definite movements,—e. g. in the case of auditory perceptions—to imitate the sound it hears; for beyond this clearly defined sound, there is nothing in the consciousness of the child but vague impressions of sounds produced by itself. The standard for imitation, constant and clear, is also prominent in the child's consciousness; everything else is indistinct and variable. This phenomenon is obviously akin to the process by which the muscles of the eye learn to perform the movements necessary for producing the clearest possible images in consciousness, although in popular belief the latter process has nothing to do with imitation.

Having acquired the faculties of looking, listening, touching, walking and controlling the movements of its arms, the child is no longer attached to one place and enters into a stage of greater freedom and independent intercourse with the outer world. The outer world influences it as before, i. e. through the sense organs. Consequently, *the acts of the child are, as before, stimulated by external impulses*, but the stimuli act upon a new substratum. The very fact that the body of the child has become more mobile, enables it to analyse its impressions in the same way as an adult: if it wants to know a thing it is not content with one glance at this thing, but wants to view it from different angles and under different aspects. To this is added the increased sharpness of optical analysis due to the training of the eyes,—an acquisition which is equivalent to a further increasse of the mobility of the body. The evidence of people who were born blind and acquired sight at a mature age is very instructive in this respect. Notwithstanding the fact that they already possessed a definite notion of the spatial relations of surrounding objects (a notion acquired by means of touch)—their field of vision immediately after the operation seemed to them filled up by one continuous image which almost touched their eyes, so that they were afraid of advancing for fear of colliding with it. Now, the image on the retina of these men is practically the same as that on the retina of people who are accustomed to look; but for the trained eye this image has a meaning,—it consists of separate objects located at different distances from the eye, and the spaces between the objects are perceived as such. In a word, the trained eye distinguishes, within the flat picture will fills up the field of vision, all three dimensions (height, width and depth). This faculty of measuring things applies not only to the whole picture but also to its details. The hand assists the eye in spatial analysis at short distance. The reflex of grasping in response to optical stimuli is developed in children in this stage to an intolerable degree; and the child is not content with getting hold of the object, it turns it about to see it under different aspects.

Helmholtz,—one of the greatest scientists of our time,—has contributed probably more than anybody else to the psychological study of the evolution of spatial conceptions; summing up the data of scientific observation on the evolution of spatial vision, he says that the conceptions of size,

distance, outline, and volume of objects are *developed by means of*, as it were, *unconscious conclusions*. This is not a mere figure of speech, as we shall see later, when we turn to the study of the elements which serve for the formation of what is popularly termed an inference. Suffice it to say that the real cause of the formation of notions out of perceptions is the *frequent stimulation of the corresponding sense organ under different conditions*. This is the extreme (and only possible) generalization of the facts pertaining to the development of the said mental formations.

Such are, at this early stage of development, the middle phases (middle members) of those psychical acts which are called forth by actual stimulation of the sense organs. Such are also the middle phases of reproduced acts, i. e. of those acts which the child performs when it recollects something that it has seen, heard, etc.; for at this early age images have not yet become sufficiently differentiated to form notions. (One has to bear in mind that every reproduced act, as a process, is only the copy of an actual stimulation in the past. The beginnings of the two acts differ only in quantity).

Now let us see what are the last (third) phases of psychical processes at this stage, and what is the relation between them and the middle phases. It is a well known fact that the child makes use of all its acquired movements with an energy quite unthinkable in the adult. At one moment, its attention is drawn to a bright object and it runs to it; but on the way it sees a fly and chases after it, forgetting everything else; then it hears the chirping of a bird, and that is sufficient to divert its energy into a new direction; then a cow moos in the distance,—and it stops to imitate the cow, and so forth. Yet the essential feature of all this disorderly and incessant fuss is always the same: the child wants to get hold of everything it sees or hears. This desire was already noticeable when it was still in the arms of its mother or nurse, but now it is more definitely the consequence, or trace, of some vivid delight experienced in the past. If you want to see how strong these desires are in the child—catch it in the middle of a romp in the open, take it home and make it sit quietly for an hour. The strong desire to move, long unsatisfied, charges, as it were, the nervous system with energy: the most insignificant stimulus is sufficient to make the strain unbearable, and leads to screams and tears, nay, even convulsions. In terms of physiology, this would mean that the products of stimulation of the higher organs of sense have at this age an emotional or passionate character: when reproduced in consciousness, they leave behind a dynamic trace in the form of a desire to possess the sources of delight; such desires are the cause of the visible activity of the child. Consequently, this activity begins with the external stimulation of the sense organs and reaches the motor apparatus of the arms, legs, and organs of voice and speech by the routes already known to us.

The dawn of thought (i. e. of the faculty of thinking) and the germs of free will are the only further stages of the psychical development of man. The child begins to be aware not only of separate objects of the outer world but also of the mutual relations between individual objects and between the elements of one and the same object. In this way, the child begins to understand those forces of the material world which bind the objects of the outer world together and form the groundwork of both practical and scientific gnoseo-

logy. Little by little there develops from the elementary mentality of the child a colossal system of knowledge, beginning with a superficial analysis of the concrete facts of the material world, and ending with infallible, mathematically exact, knowledge. The other side of psychical development is the gradual emancipation of the movements of man from their immediate dependence on material environment; they are based not only on sensory impulses, but also on thought and morality. The movement becomes thereby a conscious act of behaviour; man can now choose his mode of action, and in this sense it is theoretically always accepted that man is a morally-independent being.

Now I shall proceed to attempt to ascertain the actual elements of which mental acts (if we regard them as processes) are composed.

To solve this problem, we must begin by accepting the general standpoint from which the science of logic studies thought (or to put it more exactly, the verbal image of thought); then we must determine, step by step, the material substratum of each of the logical elements of thought. From the point of view of logic there are always two things in every thought, two juxtaposed objects. The objects of comparison can differ greatly, so far as their psychical aspect is concerned. We may compare two separate objects, or two different states of the same object. We may also compare a whole object with one of its parts, or two parts of an object between themselves. There is a still greater variety of manners of comparison,—and it is entirely the manner of comparison that determines the character of the last element of thought, i. e. the inference, and thereby determines the so-called tenor or content of the whole thought. In the simplest case, the juxtaposition is limited to the statement that two given objects are separate; in other cases it shows their similarity or dissimilarity (this includes a very wide range of thoughts dealing specially with the comparison of objects); in still other cases, the juxtaposition establishes a causal relationship between the two objects, one of them being the cause and the other—the effect, etc. In this respect, such phrases as «the tree is green», «the stone is hard», «the man is standing, lying, breathing, walking» etc. contain all the essential elements of thought: i) *the separateness of two objects*, 2) *their juxtaposition* (in our consciousness), and 3) *the inference* or conclusion (in the foregoing examples the inference is limited to the mere stating of the objects of thought).

Our chief problem is, therefore, to ascertain what psychical realities correspond to each of the three fundamental logical elements of thought.

I shall discuss this problem in relation to only one category of thoughts, viz. the process of *comparison*; I have chosen this category because it is very extensive, because here the material cause of every thought is more accessible, and because *comparison* plays a predominant rôle even in scientific thought[1].

---

[1] The category of thoughts which deals with the causal relationship between objects is also very important. But it is at present impossible to give a picture of the development of this category in the light of our principles because it is based mainly (if not exclusively) on the faculty of man to separate himself in consciousness from his acts—a faculty which is acquired by c o m p a r i n g one's self during inaction with one's self during activity. Naturally, such cases of disintegration can be dealt with only in a special treatise on voluntary movements.

We can find many examples of this type of thoughts in our daily life and even in science, when man juxtaposes and compares objects to ascertain their similarity or dissimilarity in various respects, using as standards for this comparison the impressions which the objects produce upon his sense organs, and comparing only impressions of the same kind, i. e. visual impressions with visual ones, tactile impressions with tactile ones, etc.

The adult does not need to have before him, at the moment of comparison, the actual standard with which he is comparing the object (the optical definition of colour, shape and size, the manual definition of weight, etc.); in these cases the standard applied is a purely mental reproduction of the actual object which would serve as standard, if it were available. It is further known that much more than two objects may be juxtaposed; but this makes no difference, because the actual comparison is always effected in parts, so that we have a series of comparisons, instead of one. It should be noted that when two actually separate objects (two stones, two trees etc), are being juxtaposed, *the corresponding perceptions appear in our consciousness not simultaneously, but one after the other, i. e. are separate in time and space* (e. g. our eyes are turned first to one, then the other object); this shows that there is no special mental process in this instance. But what about those cases when we mentally juxtapose an object with one of its attributes? Here again, the process remains the same. Mental processes of this sort would be impossible if man were not endowed with the faculty of disintegrating concrete perceptions; the child must possess this faculty before he begins to think. Indeed, we know it does develop very early, when the perceptions of the child are only just beginnig to disintegrate, thereby rising to the rank of impressions. Once this faculty is present, it is immaterial whether we have before us two separate impressions (i. e. two really separate objects), or two impressions of the same kind obtained in different conditions of perception. There remains the case when we juxtapose an actual impression with the mental reproduction of an old one; here again we *compare* two separate objects of thought, since the reproduction arises *after* the actual impression.

Now let us see what corresponds to the second element of the mental process which we are investigating,—the process of comparison itself. In this respect, the comparison of two actually separate objects is again very illustrative, especially in the case of visual impressions. In that case, the eyes perform, for each of the objects, all those movements which usually serve to determine the various elements of a visual perception: they measure (by moving along it) the length, or width, first of one, then of the other object; curves are compared with curves, angles with angles, spots with spots, etc. Briefly, the mental images of objects are, so to speak, superimposed, in the same way as the student of geometry superimposes triangles to prove their equality.

The same process takes place when we compare an actual impression with the mental reproduction of a similar impression, although in this case the casual observer is unable to detect the actual objects of comparison. This is perfectly natural; the fact that a child can think in visual images shows that it has already learnt to look, and that its visual perceptions are

already disintegrated to the degree of visual notions (N. B. the faculty of looking and the faculty of disintegrating perceptions develop simultaneously,—see textbooks on physiology); in this case, when a glance at an actual object calls forth in our consciousness the mental reproduction of some similar object (i. e. the reminiscence of an object seen before), this second stage of the reflex is accompanied by the third one, viz. by a corresponding movement of the eyes, since the faculty of looking is nothing more than the capacity to perform adequate movements of the eyes. This mental (habitual) reproduction of a movement for the 1001-st time constitutes the actual standard of comparison when we judge of the attributes of a single object.

There is yet another result of the juxtaposition of objects which our consciousness is familiar with, and that is the fact that a rapid succession of the impressions which we are comparing makes the dissimilarities always more conspicuous. This is the so-called *phenomenon of contrast*, owing to which light seems brighter after darkness, cold chills more strongly after warmth, small objects seem smaller beside big ones, ugliness becomes almost beautiful, and even disgusting things may be a source of satisfaction. As to the conclusion, or inference, arrived at through comparison, introspection reveals no special process for it; our consciousness merely registers the similarities or dissimilarities discovered. It is different with the content of the inference: that is determined by the character of the statement at the given moment. When, for example, we establish, in connection with a whole, some characteristic peculiarity (i. e. some part) of this whole we thereby deal with the material substratum of this distinctive quality or condition of the object; thus, we say: «*the oak* is green», «*the diamond* is hard», «*Peter* is sitting», «*John* is walking», etc. When, on the contrary, we establish the features of *similarity* of objects, the material substratum remains the same, but the object is more disintegrated: a part of it has been abstracted and raised to the rank of conception; we say: «the tree is green», «the stone is hard», «a man is sitting», «another man is standing» etc. The process of disintegration may go further, splitting up, not only a whole object, but even one of its attributes. Our consciousness establishes (N. B.: the reader must not forget that this expression is a mere figure of speech!) in addition to dissimilar attributes (the tree is green, yellow, brown etc.), certain features of similarity within these attributes; this is just as much an abstraction of a part from the whole as in the previous case; in this sense we say: «the tree is *coloured*», «the man *is motionless*, the man *moves*» etc. (in the phrase «*the stone is hard*», the perception of hardness, like the feelings of hunger and cold, the desire to urinate, etc., is the product of a sense that cannot be disintegrated).

The juxtaposition of more and more disintegrated conceptions inevitably leads to the comparison, not of concrete objects, but of separate attributes of these objects. This also permits us to compare extremely different objects (e. g. a man with a tree or stone). This enlarges the compass of our thoughts immensely, the only limit of comparison being set by the limitations of the instruments which disintegrate the conceptions into separate elements (in our case—by the limitations of the receptive powers of our organs of sense). Science shows, however, that even these limits are not final: when the limit of the natural powers of our senses organs is reached, science

arms them with artificial means of analysis, after which the disintegration of concrete facts and the juxtaposition of whole objects and their parts, or of parts only, is resumed. This process has been going on for centuries; the limit of concrete science is reached in those branches of knowledge where even the possibilities of the artificial perfection of our organs of sense are exhausted. Throughout all this endless chain of thought, made possible by the act of comparison, the concrete substratum of the mental process undoubtedly remains the same; the process begins with the greater or lesser disintegration of the concrete image (according to the capacity of the organs of sense), — a disintegration which permits us to concentrate on one side of the image; and it ends with what may be called the commensuration (comparison) of the disintegrated image either with the mental reproduction of some past similar image which serves as a mental standard for the comparison, or with some other actual impression, it we compare two actual objects. The first part of the whole process is of prime importance for the child, because it teaches it to compare concrete objects and to draw conclusions. This is proved by the fact (already mentioned once) that everything that appertains to spacial vision (such as our conceptions of size, distance, form, etc.), and can be expressed in phrases similar to those given above, is developed, according to Helmholtz, by means of what may be called «unconscious inferences».

Having reached this point in my analysis of the form of thought we are now studying, I am able to give the following definition of the essence of the processes underlying it.

The reiteration, under different conditions of perception, of one and the same stimulation of a sense organ invariably leads to a disintegration of sensations; the sensations are thereby changed into conceptions. This is inevitably accompanied by an increase of the range of conditions capable of calling forth mental reproductions of impressions according to the so-called «law of association by similarity». Now, the reproduction, in our body, of a psychical act is always a reproduction of the whole act; for example, reproduction of a visual impression includes the reproduction of the movements which the eyes perform when examining an object. These reproduced movements are superimposed upon the image of the object actually before our eyes, and form the material substratum of what we call commensuration (the estimation of shape, length etc.). These acts do not introduce any new process into our consciousness, for they are merely a repetition of the familiar processes of looking, listening, touching etc., applied to a new object. It is obvious, however, that every act of commensuration must produce a certain effect upon our consciousness: the whole history of humanity shows that a detailed knowledge of even the external attributes of an object can be acquired only through the frequent repetition of the stimulation of the sense organs by similar objects. Thus, we are accustomed to observe the faces of Europeans, and we easily distinguish the slightest change in their expressions; but we have occasion to see Negroes or Chinese so seldom that their faces seem to us all alike, and it has happened to me to take the face of a Negro girl for that of a Negro boy; that is to say, I failed to notice even the characteristic features which distinguish the faces of young people of different sex.

If the above standpoint is adopted, it turns out that there is no essential difference between the comparison of two real objects and the commensuration of a real object with a mentally reproduced image serving as a standard. At the moment when I am looking at the first object, some past similar object is reproduced in my mind with all the accompanying acquired movements of my eyes; thus the first act of commensuration takes place. Then my eyes turn to the next object,—and the act which has just been performed and experienced is reproduced in my mind; this is the second act of commensuration. That explains why the repetition of real impressions of objects, accompanied by the mental reproduction of similar objects, serves as a pattern for the perfection of the faculty of comparing objects.

We thus come to the conclusion that the mental process of comparison is nothing more than the frequent stimulation of the organ of senses, and the accompanying mental reproduction of similar past impressions together with their motor responses.

Before turning to the study of the second decisive stage of psychical development, we must apply the conclusions arrived at above to two particular instances of extreme mental abstraction, viz. to mathematical and metaphysical reasoning.

The first instance is especially striking. Mathematics is a science which analyses spacial and numerical relations, and therefore disintegrates its initial concrete conceptions far beyond any other natural science, reducing the category of space to the notion of a mathematical point without any dimensions, and the general category of value to the notion of infinitesimal value. This process of disintegration is performed without the use of any instruments perfecting our sense organs (such as the investigation of extremely small objects by means of the microscope, or of electric phenomena by means of the magnetic needle); consequently, the disintegration is effected mentally (this being one of the reasons why mathematics is called a purely theoretical science), and our mind works in advance of our sense organs, penetrating deeper into spacial and quantitative relations.

But how is it possible to reconcile this fact with our previous assertion that every mental process begins with the analysis of actual sensory impressions? And how are we to explain that mathematics is the most infallible of all sciences, although it deals with pure abstractions; while concrete mental processes (or, rather, mental processes dealing with concrete material objects) are apt to blunder? the contradiction is however only seeming, for in reality mathematical speculation is also based on realities. It is not difficult mentally to disintegrate space till we come to the notion of a mathematical point, or to disintegrate the conception of value in general to the notion of infinitesimal value; this can be easily done by people who are not very well up in mathematics,—for example by myself,—and even by children. On the other hand, it is evident that even the best mathematician in the world can have no definite notion of infinitesimal values; consequently, in this respect again all men are equal. Taken separately, the mathematical point can be understood only as a *logical abstraction:* it

is a material point devoid of its *essential* attributes (i. e. of its three dimensions). At first sight, one would call it a mere form without content; in reality, howerer, it is the antithesis of space and reality (reality being included in space as a part in the whole), i. e. nothing. The purely logical origin of the «mathematical point» is clearly demonstrated by the fact that it can be obtained by applying the process of disintegration, not only to an actual object occupying a certain space, but also to the *verbal image*, or *verbal definition*, of the material point. For the mathematician, the only attribute of the material point is its measurability in three dimensions. Now we know that the attributes of an object can be separated from this object (the very fact that we can name these attributes is a proof of this); consequently, we can deprive the objects of their attributes, and we still have the same (?!) object,—the point,—but deprived of its attributes. The notion of infinitesimal value is still more general than that of the mathematical point, but its origin is the same: it is also the antithesis of every finite reality, obtained by disintegration and said to be approaching nought; in reality, it is nought itself.

But how can mathematical reasoning be infallible, if it deals with mere abstractions? The explanation is that these abstractions are never applied in practice alone; they are used in analysis as a logical element. In this sense we say that any finite value in infinitely greater than an infinitesimal value; that a mathematical line has only one dimension; that a continuous motion is an infinitely rapid series of infinitesimal separate impulses; and so forth. In some of these inferences there is still a trace of reality (e. g. in the disintegration of continous motion); others exhibit the faculty of the human mind to apply the result of the analysis of concrete and complex forms (and thereby the analysis itself) to simpler and more abstract forms (e. g. the explanation of the line as the result of the motion of a mathematical point). Here again, mathematics presents especially striking examples. For instance, it divides all quantities into positive and negative ones, after which it logically performs the same operations on both. The concept of imaginary quantities has thus been created; taken separately, such a quantity is an absurdity; but as a logical instrument it is a valuable means of analysis. As for the infallibility of mathematical inferences, it is due not to the application by mathematicians of any particular method of logical reasoning (the most perfect human logic cannot save science from frequent absurdities),—but to the extreme simplicity of the material of this science. The best proof of this is supplied by those concrete physical phenomena which can be subjected to mathematical analysis. In all such cases, the phenomenon must be divided into elements which cannot be further disintegrated; these elements are then applied in the analysis of the phenomenon as absolutely definite conditions leading to definite and inevitable conclusions or inferences. It would seem, for instance, that blowing at the flame of a candle is a sufficient condition for extinguishing it; in reality, however, this condition is too vague and does not ensure an inevitable effect. To extinguish the candle we must blow from a definite distance and with a definite force; moreover, the wick must not contain any of those substances which are usually added to the combust-

ible composition of matches to make them burn in the wind. These conditions cannot be further disintegrated; consequently, they are the absolutely definite factors necessary for the realisation of the phenomenon.

Metaphysical doctrines are rooted in the natural (and therefore legitimate) human tendency to isolate mentally the attributes of concrete facts, and to classify these attributes according to their importance and constancy. Such is the basis of every science; moreover, it is known that a correct classification comprises all the essential deductions of the corresponding science; consequently, metaphysics has a full right to exist, so far as its purpose is concerned. Unfortunately, however, metaphysics never remains within the bounds indicated above; instead of confining itself to the disintegration of material objects (in the same way as a zoologist subdivides the animal world into vertebrata and invertebrata) and performing mental operations with the products of this disintegration, it proceeds from the idea that the human intellect is capable of transgressing the limits of sensory cognition and of acquiring direct knowledge in all the main branches of gnoceology (the outer world, the human soul, etc.) by means of pure speculation, i. e. without the medium of the sense organs, in the same way as the mathematician acquires, by dint of pure speculation, the notions of the mathematical point, infinitesimal value, positive and negative quantity, and so forth.

Reasoning thus, the metaphysician must turn away from the sphere of realities, from all that is visible, audible, and tangible; he must enter the subtle sphere of visual, auditory, and tactile ideas,—the world of pure thought. But what sort of a world is this? Every thought retains more or less the features of its primary image, i. e. of the actual impression from which it originates; but it can never be an exact copy of this impression; and as it moves away from it, it gradually becomes less tangible, till only the quintessence of the object is left. This extreme and unanalysable abstraction from the sensory world which the metaphysicians call «the essence of things» is supposed to be the fundamental quality of things, a sort of soul, accessible only to *direct cognition* by means of purely speculative reasoning. Metaphysics is the study of these «essences of things».

Before following the development of metaphysical thought any further, I must cite two well known historical facts, to show the possible consequences of the application of metaphysics in practice.

The reader knows that the phenomena of the outer world have been studied both experimentally and speculatively, i. e. from the philosophical point of view. These two methods existed side by side nearly up to our time; the first method has always modestly confined itself to the study of those facts which are supplied by the more or less acute perception of our sense organs; whereas the second one attempted to penetrate straight into the essence of things. The philosophical method reached its highest (and final) development in the famous German doctrine of «Naturphilosophie»; the experimental method is still continuing its work. The «Naturphilosophie» was not more valuable for mankind than the ravings of a madman; whereas the achievements of the experimental method have revolutionized our life, and present a vivid picture of the increasing expansion

and depth of our knowledge of the world. The speculative method has ended in absurdity, while the experimental method is gradually approaching the very goal which metaphysics aimed at,—viz. to penetrate deeper and deeper into the essence of things.

The study of psychical phenomena remained still longer in the hands of the purely speculative method, because the principles permitting the application of the scientific methods of natural science to psychology have only recently been established. The speculative study of psychical processes has been flourishing in Europe since the spread of Greek phylosophy; whereas the serious application of the methods of natural sciences to the study of psychological phenomena began with Wheatstone's invention of the stereoscope in 1838[1]. The most eminent representatives of the metaphysical school have arrived at conclusions which are regarded as absurdities not only by naturalists; whereas the application of the methods of natural science has proved beyond doubt that the development of perceptions into conceptions is closely connected with the material structure of the sense organs—an achievement of prime importance, if we take into consideration that the absence of data in this respect was to a great extent responsible for the domination of metaphysical views on psychical life.

But why does the metaphysical method finally lead to absurdities? Does the error lie in the logical form of metaphysical reasoning or in its subject matter?

We are already acquainted with the logical side of reasoning; we know it consists in the juxtaposition of two objects (two concrete separate forms, or a form and its part, or, finally, two parts of one and the same, or of two different, forms) and in their commensuration (definition of similarities, dissimilarities, causal relationships, etc.). Moreover, we are capable of detecting, as if by intuition, every more or less grave error in the logical side of our reasoning; we then say: «this inference is illogical», «that opinion is irrelevant». In this respect, metaphysics is beyond reproach: for how otherwise could it have dominated human minds for so many centuries? On the contrary: the coherence and harmony of metaphysical reasoning is its chief attraction, along with the immense range of the problems it claims to solve. Consequently, it is not the logical side, but the object of metaphysical investigation that must be wrong. This fact is very important; it shows that *the real substratum of the mental process remains the same, no matter whether I am reasoning on the basis of reality, or meditating in terms of pure metaphysical abstractions.*

Now what exactly is wrong with the subject matter of metaphysics?

When the metaphysician, with the purpose of gaining deeper knowledge, retires from the material world of impressions (which he regards as a pollution of the *essence* of things) into the realm of ideas and conceptions (for he has no other place to retire to), and does so with the conviction that *the most ideal* i. e. the least real) is *the most essential*, he forgets that the abstractions with which he is obliged to deal are fractions, conventional

---

[1] The stereoscope was actually invented by Wheatstone in 1833, but the theory of stereoscopy as applied to psychology, appeared only in 1838.

quantities; he isolates them, and without any more ado makes them the sole objects of his study, transforming them into «*essences*». It is no exaggeration, but merely the expression of my deep conviction, if I say that the metaphysician assures us that $\frac{1}{2}=1$, $\frac{1}{10}=1$, $\frac{1}{20}=1$, etc. He acts as a mathematician would act, if he took it into his head to isolate a mathematical point or an imaginary quantity, repudiating their conventional character. Even more: mathematical imaginary quantities, even in their isolated form, are still obviously abstracted from realities; whereas the extreme objects of metaphysics, or «essences», *are products of the disintegration, not of actual impressions, but of their verbal expressions.* This is the second deadly sin of metaphysics—a sin which makes it possible to confuse the name of an object with the object itself, e. g. the name Peter, and Peter the man; and its origin lies in the peculiarities of our speech, and the attitude towards it of the human mind.

As an external expression of conceptions and thoughts, our speech is a sort of vocal photography, reproducing, by means of definite, but entirely conventional, symbols, the separateness of our conceptions. When I am looking at a tree, and the colour of its leaves looms in my consciousness above all its other attributes, I express this disintegration of the whole impression by means of the following two vocal symbols: «*the tree—is green*». Then I see a tree lying on the ground. This picture contains four characteristic elements: the tree, its position, the ground, and the contact between the tree and the ground. If we draw this picture on paper, we shall see that the whole matter is really determined by those four elements, and that all four are equally important as parts of the picture. The vocal photography of such a picture will also consist of the same four members «*the tree—lies—on—the ground*»,—according to the four fundamental elements of the picture. The photographic nature of the phrase is to be seen even in the order of the words: the chief figure occupies the first place; it is followed by its attribute; then comes the dividing—line between the chief and the secondary figure; and finally—the second figure itself. If I now ask an intelligent person to isolate each of the chief elements, first in the visual, then in the vocal picture of the object, he will probably answer that the visual picture contains only two things—the tree and the earth, because only these two objects can be isolated from one another; whereas in the vocal picture there are four distinctly separate elements, four words. What has become of the photographic precision? The point is that the disintegration of every visual perception (the isolation of a part of the whole perception, e. g. its position, or one of its properties) is a purely mental, fictitious act; to disintegrate a visual perception is not the same as to cut a cucumber into four pieces; whereas the vocal photography of speech is essentially articulate, i. e. composed of isolated elements. We must always keep in mind this discrepancy between the real substratum of thought and it verbal photography; otherwise we risk confusing *reality* and *fiction*; unfortunately, we often unconsciously fail to take this into consideration, owing to our habit (acquired in childhood) of thinking in words even of such objects which are perceivable visually or by touch. This confusion is the more easy as the verbal expression of thought and the reality which it is intended to

represent very often do not coincide; e. g. the copula «is» is a logical part of speech which often does not express any reality,—for instance, in the phrase «the cat *is* an animal». But these are not the only errors that can arise from the peculiarities of human speech. It was said above that the four characteristic elements of the visual picture of a tree lying on the ground are equivalent *parts of the picture*; but as *parts of speech* composing the verbal phrase which corresponds to this picture, they are not equivalent to each other. All the elements of the picture are, so to say, substantives for the eye; whereas in speech two of them are substantives (with their articles), one a verb, and one—a preposition. Ask a metaphysically-minded person to explain this seemingly important difference. He will probably say:—«The actual perceptions of real objects are coarse and inert, as compared to thought. Speech, as the product of thought, is ten times more subtle and mobile than the visual image. Compare literature and painting: the former can describe the most delicate feelings, the most subtle changes in the stream of our consciousness, while painting represents mental life only in outline». This answer is made up of omissions, substitutions of the part for the whole, and erroneous conclusions.

Here is the real explanation. There are many ways of analysing the verbal forms of thought. A thought can be separated into single words which may be regarded as products of isolation, or «isolates». (This is the first stage of auditory analysis). Isolated spoken words are related to hearing in the same way as a stone, a tree, or the sun are related to the eye. An isolated word, in its turn, can be separated into syllabic and alphabetic sounds (the second and third stages of auditory analysis). Further analysis deals with the thought as a whole. In this case, we study the content of thoughts, the construction of their verbal expression, etc. This type of analysis falls within the province of logic. In addition to the above mentioned mental operations, the human intellect is also capable of generalizing the names of objects, or the words which serve to define the relations between these objects, quite irrespective of the generalization of the objects or relations themselves. For instance, in the sentences:—«a flock of birds», «a drove of horses», «a herd of cattle», the words «flock», «drove», «herd» are equivalent names, each of which denotes the relations of definite objects:; whereas the word «collection» is a generic name for the same relations and may be used in any of the above expressions. John, Peter, Paul are the specific names of, say, the servants in a restaurant, while «waiter» or «garçon» is their generic name. These words can be easily distinguished from words designating real generalizations or concepts. In the latter case, the general is always related to the particular as the part is related to the whole; for instance, the word «animal» is the result of real abstraction, as it implies isolation of a part from the whole (anything that breathes, feels, and is capable of active movements is an animal). On the contrary, specific and generic names are essentially identical. Thus, the word «*man*» is a generic name for Peter, John, etc.; the word «bird» is a generic name for sparrow, jackdaw etc. It is true that these cases bear a certain resemblance to abstractions: I can draw the outline of a man, a fish, a bird, or a tree; but when I look at these outlines and say: «the man walks», «the bird flies», «the fish

swims», it is clear I am associating the objects of my thoughts, not with the outlines but with the real objects denoted by these conventional generic names.

Such mental operations upon the elements of speech may, of course, lead to misunderstandings, if the conventionality of speech is not taken into account. I will cite two examples to illustrate this; one of them is simple, the other one—more complicated.

The sentence:—«Mr. So-and-So has a heart of gold» would be absurd, if it were taken literally. How can a name have a heart? And how can a heart be made of gold? But if I compare, for example, the following thoughts: «blue is a colour», «red is a colour», and «green is a colour», and assert that colour is a concept embracing all hues, it would not sound absurd, like the foregoing sentence, though in reality it is also an absurdity. The word «colour» is nothing but a generic name for all hues. I further say:—«In addition to colour, all *things* in the world have a shape and a size». What is the rôle of the word «thing» in this sentence? It is a generic name for all visual objects; it cannot be even drawn in outline, as in the case of the generic names «man», «bird», etc. I continue: «Shape and size are the *attributes* of all *things*». This idea is quite true, if the words «thing» and «attribute» are regarded as generic names and not as concepts; but this idea sounds utterly absurd, if these two words are considered to be the products of the analysis of realities.

Let us now perform the logical analysis of the following sentence: —«All things have attributes». We say:—«All the attributes of a thing,—such as colour, shape, and size,—are variable; but the change of the attributes of a thing *does not change the nature of the thing itself.* A stone remains a stone no matter whether it is large or small, gray or blue, round or polygonal, etc. Therefore, attributes in themselves do not constitute the essence of the stone». One would say that the above argument is perfectly logical,—nevertheless, it is mere metaphysics, based on the erroneous assumption that isolated attributes are real things; on the ground of this assumption, I juxtaposed, in my argument, the attributes of the object with the object devoid of attributes, i. e. with another absurdity. I have confused Peter with John.

Do metaphysicians really get so confused by their own generalizations as to be unable to distinguish the real from the nominal? There have been men of mighty intellect among the metaphysicians. I do not assert that the properties of our speech were the only cause of metaphysical errors; these properties only aggravated the matter. I have already pointed out that the principal fallacy of metaphysics is the unwarranted assumption that man can acquire knowledge of the outer world by means of pure mental speculation, without resort to the organs of sense. This assumption is so widely accepted and so deceptive that I must say a few words about the causes of this self-deception.

Man is a definite unit in the series of phenomena which take place on our planet; his physical and even mental life, inasmuch as it forms the subject of scientific study, is a terrestrial phenomenon. We can isolate mentally our body and our mental life from their surroundings, in the same

way as we isolate mentally colour, shape and size from objects. But is there any reality in this isolation? Certainly not; or if there were, this would mean that it is possible to isolate man from all the conditions of his terrestrial existence. Now, the isolation of the spiritual side of man from the material world is the fundamental principle of metaphysics. It is a self-deception nourished by the vividness of our self-consciousness. Once this initial error is committed, we can continue perfectly logically: «since the surrounding world exists apart from me, it must have a different appearance to that under which it is presented to me by my sense organs. The latter cannot be true because it is indirect. Only the world in itself, independent of my organs of sense, is true. To know this true world I must use a more subtle, non-sensory instrument—my intellect. In this argument, everything is right, except the last phrase; but it is just the last phrase that contains the error which we have spoken of. To sever our intellect from our organs of sense is the same as to separate a phenomenon from its origin, a consequence from its cause. It is true that the universe exists apart from man and leans a life of its own; but it is impossible for us to know it otherwise than through our organs of sense, because the activity of the organs of sense is the source of all our psychical life.

To sum up my rather lengthy argument in proof of the material substratum of psychical processes I put forward the following principles:

1) The first mental acts appear with the differentiation in the mind of the child of the complex sensations, coming from the organs of sense; at this stage, all the concrete psychical processes of which mental acts are composed (such as the *differentiation of concrete complex sensations, and the reproduction of sensations experienced in the past*) are already taking place in the organism of the child.

2) When a child has acquired the capacity to look and listen, the process of differentiation of visual and auditory sensations is already highly developed. The first objective indication of this development is present in those signs by which the mother judges that her child has begun to recognise her voice and face. At this stage of development, the concrete psychical mechanism of primitive thought (viz. of the mental process by means of which the child registers the characteristic sensory properties of objects) is probably already present.

3) When the child had acquired the capacity to recognise the distance of various objects (e. g. when he catches his mother by the nose without stretching all his body to do so, and stretches his body when trying to reach more distant objects)—this shows that in his mind processes are taking place which have all the features of visual thought. These are the acts which Helmholtz calls unconscious inferences[1].

4) The repetition of the stimulation of the sense organs by one and the same object, or by similar objects, makes the impressiom more precise,

[1] It is known from physiology that man determines at a glance the distance of objects by the angle at which of his optical axes are converged or,—to put it more exactly—by the intensity of the muscular sensation accompanying the contraction of the muscles which turn the eye-balls inwards. The purely visual sensations are accompanied by muscular sensations which become the means of measurement. The distance of the ob-

because the conditions of perception differ more or less in every stimulation. This produces the same effect in the mind of the child as the examination of an object from various sides produces in that of the adult.

5) Every new real impression is invariably followed by the reproduction of a similar past impression. Consequently, every new impression invariably leads to a juxtaposition of the middle phases in consciousness; in this commensuration, the reproduced impression, being older and more familiar, serves as mental standard. For instance, I am used to see a certain man without any spot on his nose; and when I see him with a spot on the nose, I am deeply affected, because I compare his familiar image with the new impression.

6) In the acts of vision (which include all the elements of mental commensuration) we know the material nature of the last phase of the thought: it is the reproduction of the muscular processes of the act of looking, as the last phase of the act of mental reproduction. This reproduction of past muscular sensations is juxtaposed with the *actual* muscular sensations of the moment in the same way as triangles are superimposed in geometry.

7) Inference has no material substratum, but the contents of the inference (and, hence, of the whole thought) depends upon the way in which the concrete objects of the thought are juxtaposed (it must be remembered that it is possible to juxtapose 1) an object and one of its attributes or states 2), two objects as wholes, and 3) the attributes or states of two objects). For instance, the juxtaposition of the actual impression of a whole visual image with a reproduced attribute of a similar past impression leads to an inference concerning this past impression. Another example: if we juxtapose two different facts which invariably follow each other we infer that there exists a causal relationship between these two objects.

8) The mental process remains the same when we compare many concrete objects, or when we juxtapose objects disintegrated by means of scientific methods, in spite of the fact that this juxtaposition gives us practically all our knowledge of the external world.

9) The process of thinking is also the same in mathematical reasoning, although the objects of such reasoning may be abstractions resulting from a disintegretion carried far beyond the limits of our sensory perception.

10) The mental process remains the same even in the case of philosophical reasoning on an erroneous basis, when the objects are mere fictions, instead of realities. In this case, the mental operations are in themselves correct; they are performed upon the products of disintegration of the verbal form of thought; these products are obtained in a logically correct manner, but in their abstracted form they do not correspond to any reality.

The last problem we must deal with is the problem of voluntary human

---

ject is measured by the intensity of the muscular sensation. This process is similar to the geometrical method of finding the distance of a point by determining the angles formed by a given line serving as a base, and the lines which lead from the ends of this base to the point. The base is the imaginary line connecting the centres of our eyes; and the intensity of the muscular contraction corresponds to the angles at the ends of the base.

actions. To solve it, it is necessary first to expound the physiological aspects of voluntary movement.

Up to the present time physiology divides all the movements of the human body into two large groups; the movements that are not subject to our will, and those which can be influenced by it. This classification is quite correct in its general form; indeed, there exist movements in our body, the existence of which has been discovered only by means of scientific research,—e. g. the peristaltis of the alimentary canal, the contractions of the gall-bladder, urinary organs, womb, etc. But the matter becomes more complicated if we try to determine the general principles of this classification. The old anatomical principle, according to which striated muscles are controlled by our will and smooth muscles are not, does not hold. For instance, the heart muscle is striated, and yet it is not controlled by our will; whereas the smooth muscles which serve to evacuate the urine from the bladder are controlled by our will. We might conceive another principle of classification, according to which the category of absolutely involuntary movements would include only those movements which serve for the vegetative functions of the organism ensuring the material preservation of the body; such as the circulation of the blood, the movements propelling the food along the alimentary canal, those that press the digestive fluids out into the alimentary canal, etc. It is profitable for the organism that such processes should not depend on our will and should have an absolutely automatic character. The process is thereby made invariably regular, independent of any external influences. But this view cannot serve as a basis for classification, no matter how sound it may seem; the process of respiration and the intaking of food (i. e. the grasping of food, its introduction into the mouth, mastication and swallowing) are essential in securing the material supplies necessary for our existence, and therefore should, according to the above classification, be absolutely independent; and yet we know that it is not so. The third and last principle, advanced as a basis of the above classification, may be formulated as follows: only those movements which we are clearly conscious of can be subject to our will. From this point of view the movements of our arms, legs, body, head, mouth, eyes, and so forth, being all of them visible acts clearly perceived by us in the form of a combination of cutaneous and muscular sensations, are subject to our will. This point of view explains the voluntariness of the movements of the bladder: the degree of fullness of the bladder is clearly reflected in our consciousness. The subordination of our vocal chords to our will is thereby also explained, because the different states of the vocal cords are manifested in the different sounds of our voice. In a word, all those movements are voluntary acts which acts accompanied by distinct sensations even if these movements are not directly visible.

We see that the third principle is satisfactory; but it does not give us any clear notion of the difference between voluntary and involuntary movements.

If the physiologist analyses voluntary movements separately, he is at once confronted by the following important fact. The number of voluntary movements actually executed by man is far below the potential number

of movements permitted by the anatomical structure of his skeleton and muscles. In the human body, there are muscles which most people never use, such as the muscles of the ears and of the skin of the head. Some combined muscular movements can take place only in one direction, but not in the opposite; for instance, it is easy to converge the eyes, but very few people can diverge them beyond the parallelism of the optic axes, and probably no one can move simultaneously one eye upwards and the other downwards, or rotate an arm in one direction and a leg in the opposite; we cannot turn the shoulder inwards and the forearm outwards, etc. Considering the isolation of the nerve-fibers which transmit voluntary impulses to the muscles, one might expect that such a simple movement as the bending of an arm or a leg could be executed in many different ways; whereas in fact we see just the contrary. Everyone knows that respiration is subject to our will; yet try to inhale and exhale using only one side of the thorax, and you will see that it cannot be done voluntarily although it is possible anatomically, as has been observed in certain diseases.

What is the cause of our inability to change the character of our movements? There are several such causes. The conditions of human life do not necessitate the exercise of the auricular and occipital muscles; consequently they remain unexercised from generation to generation just in the same way as man would never learn to swim if water did not exist. Now the faculties of walking, of clutching objects with our hands, of pushing objects away, etc., are necessary for the human organism; man could not exist on earth without these faculties. Consequently, the conditions necessary for the development of those movements must already be present in the neuro-muscular organisation of the newborn child. It is in this sense that I have already said that the neuro-muscular mechanisms of vision, walking, and even speech are to a certain extent present at birth. In other words, in the human body, there are certain inherited neuro-muscular combinations which at first always act as a whole group of nerves and muscles; gradually, under the influence of conditions created by life, these groups become more or less differentiated. The simultaneous clenching of our fingers around objects, by dint of the gradual decrease in the size of the objects held in the hand, may gradually be differentiated into moving fingers in pairs, or even one by one. The act of breathing, on the contrary, cannot be differentiated even into the separate respiratory movements of the two sides of the thorax, because nothing necessitates our breathing with only one half of the thorax. This shows that the character of the movement corresponds to its purpose. In one case, the muscles do not move at all, although all the anatomical conditions for movement are present; in another case the movement is performed by a large undifferentiated group of muscles (breathing); in a third case, the movement is highly differentiated (e. g. the movements of our fingers, or of the vocal chords in speech and singing); in a fourth case the movement is executed in only one direction, and not in the opposite (simultaneous unidirectional rotation of an arm and a leg). *And all the above forms of movement are voluntary!* Does it not follow that the very fact that a movement is voluntary proves that this movement has been acquired under the influence of circumstances created by life? The same general conclusion

may be reached in a more simple way: The newborn child can perform only involuntary movements, such as sucking, swallowing, breathing, coughing, sneezing, and so forth. It cannot perform any combined movements, such as looking, walking, speaking, using the arms as a lever, grasping etc; these movements are acquired by the child gradually,—and it is these very movements which mostly become voluntary, although the adult is able to perform voluntarily such involuntary movements as sucking, swallowing, breathing, coughing etc.

Different forms of voluntary movement are subordinated to our will in different degrees: some are entirely controlled by the will; others can be called forth or at least facilitated, by the presence of some habitual external factor in the presence of which they usually take place; others again are only superficially regulated by will. As an example of the first category of voluntary movements, we may cite the bending and unbending of the trunk, arms, and legs. The second category may be illustrated by the voluntary converging of the optical axes, both in the presence and in the absence of concrete objects, and by voluntary swallowing, which is possible as long as there is something to swallow (e. g. saliva in the mouth). The last category is typically represented by the respiratory movements: their rhythm can be voluntarily changed, or they can even be stopped altogether,—but only for a few moments; sooner or later, they resume their normal course against our will. Within the above limits our movements are subordinated to our will. The form of this subordination is in all cases the same: will can call forth, stop, augment, and inhibit movements; the intensity of these influences is extremely variable. How can this difference be explained? Physiology gives a definite reply to this question. All voluntary movements,—(both those which are acquired, and those which might be called an artificial reproduction of involuntary movements, such as voluntary swallowing and voluntary breathing) become habitual by dint of frequent repetition, and thereby become subject to all factors influencing habitual actions. For instance, the bending of our fingers, though developed under the real necessity of grasping more or less small objects, is frequently repeated without any object to be grasped; this, so to speak, «purposeless» bending of our fingers gradually becomes habitual. On the other hand, we are accustomed to swallow and to look only when there is something that can be swallowed or looked at, in the same way as we are accustomed to walk only when our feet touch the ground; therefore, in the absence of these suitable impulses the corre sponding acts become either difficult, or even impossible. Finally, in the case of respiratory movements, the rôle of our will is insignificant because of their automatic nature.

This habitual character of voluntary movements accounts for the fact that the more habitual they are, the more difficult it is to notice the external impulses that call them forth. This imperceptibility of the external impulses is a well-known feature of voluntary movements. It follows from this that the movements of our fingers must appear to us as the most voluntary of all movements, because they are the most habitual ones.

It must be noted, however, that it is not only respiratory movements that are superficially subordinated to our will: the same is true of all our complex

acquired movements, even if they are not so vitally important as respiration. Take, for instance, walking. It is acquired in childhood, and once it has been acquired, the will can only start or stop it, or make it faster or slower at any moment, but cannot change the mechanism of the act; and physiologists are quite right in saying that this fact is responsible for the automatic regularity of walking. Indeed, if we pay attention to every movement which we perform when walking, the process becomes hampered and uneasy. The same is true of all acquired movements, even if they have been acquired in maturity, (e. g. the technique of the artisan or the musician) and even of speech. As speech plays a very important rôle in the psychical life of man, I must say a few words about it before drawing any conclusions from the preceding facts. With this purpose, I shall draw a parallel between speech and walking. It is a well-known fact that every individual has certain peculiarities of speech; one drawls, another one speaks too fast, the third lisps, or says «sh» instead of «s», etc. When a man has grown accustomed to his own peculiarities of speech by dint of frequent repetition, he cannot correct them voluntarily, even if he is able to pronounce the separate sounds in the right way. The same is true about walking: our individual manner of walking may be hurried, heavy, slow, gliding, skipping, mincing, etc. Tell a person to control his steps, and you will see that he is able to do so only for a short time. The interference of will hampers the freedom of our movements and replaces natural easiness by strenuous effort. It is further known that we can voluntarily interpolate superfluous sounds in our otherwise correct speech, or transpose syllables; we can also volontarily change our normal gait by hopping, or bending our knees, or jerking our legs in a definite rhythm. By long practice, we can grow so much used to these abnormal movements that speaking or walking correctly becomes difficult; but as long as this alteration of our movements is still voluntary (i. e. has not become habitual), it does not last long. Consequently, the degree of subordination to will is apparently the same in walking and speech. Now let us see how far this parallel between walking and speech can be extended. If we pass from superficial observation to a more detailed examination of acquired movements we shall see the connection of every such movement with the sensory sphere; this connection can be easily demonstrated, though it escapes the notice of most people.

We know that a man can learn by heart a long piece of poetry in an unknown language, in the same way as one learns a melody. When he is reciting this poetry, he is repeating the same chain of actions for the thousand and first time. In the course of this recital, his mind reproduces, slightly in advance of voice, the auditory trace of the poetry. As long as there is no break in this trace, the recital flows uninterruptedly; but it is stopped by the first blank in the trace.

Our will has no direct power to set the recital again into motion, and we have to remember the forgotten word in some round-about way. Now let us examine the act of walking. When I am walking, I am repeating the same movements for the hundred thousand and first time; in the course of these movements, there also flows through my mind a sort of melody, with the only difference that this melody consists, not of sounds, but of musculo-

cutaneous sensations, which are inaudible, but distinctly felt by me[1]. As long as there are no sensory breaks in this melody, the locomotion goes on unhindered; but if, instead of touching the ground, I catch my foot in a hole, the normal chain of sensations is interrupted, and I stumble[2]. We see that the analogy between speech and walking is most complete. The only difference is that we can adapt our gait to the holes and obstacles which we see on our way, because when we learn to walk we also learn to avoid obstacles under the control of our eyes (blind people—under the control of the stick with which they feel the ground before them); whereas when we stumble in our recital, our eyes cannot help us, because they have nothing to do with the learning of melodies or poetry. On the other hand, speech has other connections beside those which have just been discussed, viz. the mental processes which it represents. When we are relating something which we have seen, or anything else that is registered in our memory, our vocal movements are accompanied by corresponding mental processes. Let us compare this case with the recital of a poetry in an unknown language. If I am relating for the first time something I have seen, and my exposition is given in the chronological order of my visual impressions,—this shows that the chain of visual impressions registered in my memory is unrolled in my mind side by side with my speech. But when I relate the same story after having thought it over (and we know that it is possible to think in words),—it is possible that my mind reproduces, not the visual images themselves, but merely the verbal photography of this image; and of course, the process in this case will be the same as when we repeat verses in an unknown language,—apart from the emotions called forth by speaking of things experienced, and apart from the conscious regulation of the order of our story. It is just this that makes a great difference; but here again, will has no power; it cannot change the current of our reminiscences. If we now turn to the act of walking, we will not find in it anything like the last-mentioned element; so that the analogy between walking and speech does not go beyond the influence of emotions on the character of both speech and gait.

Consequently, the analysis of acquired complex movements shows that in the normal course of these movements (which is, of course, their usual course in life), the process suggests the work of an automatically functioning mechanism (something like a music-box), and our will is *capable* of putting this mechanism into motion, of making it work faster or slower, and of stopping the machine altogether,—but no more.

But how are we to reconcile these facts with the absolute power of will over such simple movements as the bending and unbending of our fingers? Are these simple movements an exception to the general rule? Certainly not: by origin, they are also acquired movements; consequently, here again

---

[1] If the contractions of our muscles while walking were accompanied by sounds, the melody of walking would be the best-known song in the world; this is demonstrated by the fact that we can recognise people by the sound of their footsteps, even though this sound is only an inadequate expression of a very short part of the process of walking.

[2] I have been told that musicians experience something similar when they have to play on a badly tuned instrument.

the process is a direct result of habitual movement, and will only puts it into motion, or stops it, or changes its velocity.

The same, from *a* to *z*, applies to the voluntary interpolations into the course of our automatically-coordinated movements (inserting extra sounds into normal speech, jerking the legs when walking, etc.). The origin of these interpolations is undoubtedly voluntary, but become possible only through exercise and habit. It is clear that the letter «*h*» can be easier inserted between separate words than between the syllables of words; that it is easier to invert the order of syllables in bisyllabic words than in polysyllabic, etc. On the other hand, even these difficulties can be conquered by habit, and the corrupted speech becomes as regular and fluent as normal speech.

This being the end of our objective and purely-physiological analysis, we must sum up what has been said, before turning to the investigation of the psychological side of the same phenomena. Here is this summary:

1) All the elementary movements of our hands, feet, head, and trunk, as well as all our complex movements acquired in childhood by practice, such as walking, running, speaking, moving the eyes, etc., must be acquired before becoming voluntary.

2) The more habitual a movement has become, the more subordinated it is to our will, and vice-versa. (An extreme example is the total absence of the control of our will over those muscles which remain unused).

3) The will can do no more than evoke an act, or stop it, or change its intensity; the movement itself takes place without the participation of will, being the reproduction of what was done many thousand times in early childhood, when there can be no question of voluntary acts.

Let us now pass to the psychical aspect of our problem.

If we compare the above conclusions with the teachings of various psychological schools, we see that our point of view either contradicts the existing psychological theories or is a distant and incomplete echo ot them. Who, indeed, will believe me, if I say that conclusion № 1 is equally applicable to movements acquired by the adult, e. g. to the craft of the artizan, in spite of the fact that technical skill is acquired by the apprentice consciously and with the obvious participation of his free will; or how is it possible to cram into the narrow frame of conclusion № 3 all the immense variety of voluntary human actions? Our will can evoke not only actions which are suited to the moment, but any sort of actions, so long as they are known to us: I may dance and laugh, though I want to cry; I may go to the left,—though I want to go to the right; I may face deadly danger, in spite of the warnings of my instinct of self-preservation. Our will is not an impersonal agent controlling only our movements; it is the active side of our mind and of the moral feeling which guides us in the name of definite principles, and often overcomes even the instinct of self-preservation. The question whether will interferes with the details of the mechanism of movements is of no consequence; the important point is that will can intervene in the independent course of a movement at any moment and change its intensity and direction. Man is distinctly conscious of this power of his will, and expresses this by the words «I want and shall»; we are so deeply convinced of the freedom of our actions, that it is very difficult to fight the

popular conception of will. Let us analyse the three questions one by one. To solve the first one, we must first disintegrate the learning of a handicraft into its elements, and then determine the part played by will in relation to each of these elements. The conditions for learning a handicraft are: 1) a sufficient mobility of the hand (it must be able to turn in every direction, bend and unbend in all joints etc.); 2) that the hand should obey the eye (this is self-evident, because all the movements of our hand are acquired under the control of our eyes); 3) that the student should be able to imitate the movements which are being taught to him, 4) that he should be able to distinguish the good results of the correct movements from the bad ones of incorrect movements; 5) that he should practise as often as possible, and that the products of his labour should be the test of his achievements.

The power of our will in the first item is just the same as in the case of the elementary movements of our hands acquired in childhood: it can call them forth, stop them, augment or inhibit them, but no more, because the first lesson is simply the application of the previously acquired movements of the hand to a new particular case. The second and third items have nothing to do with will; but will is most important in the execution of absolutely new movements, i. e. movements which the hand had not been trained to perform before the lessons began. In this case the task of our hand is obviously the same as that of our speech if we try to interpolate the sound «h» between our words, or that of our locomotor mechanisms when we try for the first time to jerk our legs at every step. The visual control of rapid or complicated movements is more difficult, and therefore such movements are more difficult to acquire. This is why difficult crafts are taught in special schools for the hands, where the complexity of the movements is gradually increased. But when the essential movements are finally grasped, i. e. when the student has mastered their order, and the eye (or the eye and ear) have become skilled controllers of the movements of the hand,—the lessons are ended (N. B.: the will plays no rôle whatever in all this process). All the rest is a matter of practice; and here again the only function of will is to set the movement into motion, to regulate its velocity, and to stop it when necessary,—no more.

Consequently, when an adult is acquiring new complicated movements[1], his will participates quite in the same way as in any movements already acquired by him. In other words, here also, will can interfere at any moment and change the character of the movement. This shows that the final answer to the 1st point of our summary must be given later, when we discuss the 3rd point.

To analyse the psychological aspect of the 2nd point of our summary, I must give two parallel examples.

Imagine two old men, quietly passing the eve of their lives, far away from all turmoil. Both are honest, kind and wise, both have received the same education, and hold approximately the same views on life. The same good

---

[1] I am considering the participation of will only in the process of learning a craft: the role of will in connection with the practical purpose of the student when he applies himself to the study of his craft is quite another matter.

and the evil are deemed good and evil by both; both find pleasure in helping their neighbours, both are used to forgive the faults of other people. Even their ways of living are similar: they both cultivate in practice the virtues that result from their calm outlooks on life. Judging by their acts, they are morally equivalent men, for the lives of both are devoted to aiding people; and it will make no difference for any intelligent person if one of them aids people tactfully and with a kind smile, while the other one does so with a frown on his face. Their moral equivalence is determined (in the given conditions), not by the form of their good actions, but by the unfailing constancy with which they perform these good actions. If two such men were shown to me, I would resolutely say that the thing I value most in their moral characters is their *habitual* kindness, for it is a proof that they not only have been kind and are kind, but that in future they will continue to be kind. It is in this respect that they are equal. Now let us suppose that our two old men have led different lives. One has lived all his life in peace and comfort, in an atmosphere of sympathy and esteem, and the example of others taught him to be kind. His good actions were always dictated by the moral satisfaction they gave him; it is perfectly natural that in such favourable conditions this satisfaction should have grown into a necessity, dominating in his mind everything else. The good deeds of such a man, being the natural result of his moral feeling, come of themselves, without the least effort on his part. I should be even embarassed to determine how much the will of this old man participates in his actions. What indeed, can be the rôle of will in perfectly habitual actions, the very value of which in the eyes of man lies in their regularity, their direct dependence on the moral feeling of the man who performs them? Of course, our old man might show that he has a will by refraining from good deeds; but this would not make him better in my eyes, for I think that the ideal is to be unable to abstain from good deeds. Nevertheless, the 3rd point of my summary can be applied to this case, because it is entirely within the power of the old man not to obey his moral feeling. Now let us turn to the other old man. His life was different: temptations and obstacles stood on his way to the quiet haven of his old age which permits him to cultivate the virtues of a good heart far from wordly cares and vanities. The life of the first old man passed among smiles, blessings and tears of gratitude; that of the second one—mostly among tears of hunger and maledictions. The first one knew evil by hearsay only; the second one suffered from it personally, and fought for the destitute at the risk of his life. And yet, now that he is old, and all his misfortunes are over, he looks stern and aloof, though at heart he is as kind as the first old man. How can this be? Most people will say: this man must be endowed with two virtues: a kind heart (i. e. a strongly expressed moral feeling) and a strong will; they will probably add that the greater the obstacles, the stronger must be the will of the man who issues from the struggle of life without a stain on his conscience. We are so used to this idea, that it seems selfevident to us. But is it so indisputable, after all? If after the struggle I am as pure as before it, this may be the result, not of moral feeling *and* will, but of increased moral feeling alone. We know, for instance, that men who meet death voluntarily are always in the power of some strong feeling, conviction, or

faith, which makes them unafraid of death. There are, of course, cases when man meets death stoically out of submission to Fate; but this feeling of resignation may also be fanatic, and besides, such a man awaits death passively without advancing to meet it, as in the previous case. On the other hand, heroic deeds have never been accomplished in cold blood, by the power of will alone. Every act of will is accompanied and determined by some moral motive,—passion or emotion, even in deep moral crises, when will should, according to current psychological theories, stand forth more than ever, it acts not by itself, but in the name of reason or sentiment. Cold-blooded will does not exist; and what is usually regarded as the result of the combined action of will and reason or sentiment can be equally explained as the result of reason or sentiment alone. Here again, we can abstract will from its attributes, and qualify it as our potential freedom of actions. Our second old man, for instance, struggles against temptations and conquers them; his moral feeling calls him in one direction, temptation—in another, but the first voice is stronger, and he follows it. Such is my point of view; whereas the current psychological theories assert that between the moral feeling and the act we must insert abstract will, because introspection tells me distinctly that I can choose to follow either the voice of temptation or the voice of morals; if I obey the first—my will is strong; if I obey the second—I am weak... Again an apparent contradiction with the third point of my summary. Let us now turn to this point.

The child begins at a very early age to differentiate his Ego from the things he sees and touches (a detailed description of this process is given in the «Reflexes of the brain»). When he already reacts to the caresses addressed to others around him otherwise that to the caresses addressed personally to him—this is a proof that a certain degree of differentiation has already been reached. Soon, this analytical process begins to include a disintegration of his own already isolated personality. When you ask him: «What is my little Peter doing?», and he answers correctly (i. e. in accordance with facts): «Peter is sitting, playing, running», this disintegration has reached a degree when he distinguishes himself from his actions. How does this happen? The child constantly experiences complex sensations accompanying the acts of sitting, walking, running etc. These complex sensations often appear one after another, so that there are many occasions for their mental juxtaposition. The words «Peter is sitting or walking» are the result of this juxtaposition. Of course, the word «Peter» is not yet, in this case, a perfect abstraction of all the constant elements of Peter's of sensations of his Ego from the variable ones,—such an operation is not easy even for the adult,—but it is a sufficiently distinct separation of his body from his actions. After some time,—or even at the same time,—the child begins to mentally separate the desire to do an action from everything else; he says: «Peter wants to eat, wants to take a walk», etc. This is not an indifferent expression of the state of his body, as in the first case,—but a conscious differentiation of two things,—the sensation of hunger, and that of its satisfaction; or the craving to go for a walk, and the sensation of being in the open (composed of a mass of sensation different to those of being indoors). As the sensations of desire can appear in most various conditions,—sitting, standing, etc.,—they must be mentally

juxtaposed with each other. Consequently, Peter feels once a craving for food, another time a craving for taking a walk; once he is walking, anothers time he is running; but in all cases *Peter* remains the locus of all sensations and all actions. If the body of the child were so constructed that he could distinctly perceive the external impulse preceeding every one of his sensations, he would, of course, stop regarding his body as the source of these sensations, and instead of saying «Peter wants to take a walk» he would say that *A*, *B* or *C* is calling him for a walk,—in the same way as he says, quite correctly: «mamma is calling me for a walk» when the impulse is the voice of his mother. *If this were possible, the child would be able to distinguish separately the three phases of the reflex*: the external impulse, the sensation and the action. As it is, the external impulse disappears, and he analyses only the last two elements; and as he always associates them with himself, he naturally regards his Ego, i. e. Peter, as the locus of the sensation or action (exactly in the same way as he says: «the tree is standing», «the dog is running», etc.).

When the child has isolated the two last elements (or phases) of the reflex act from each other, and has erroneously substituted his Ego instead of the first element, he gradually begins to discover the relationship of the elements to each other. In other words, the complex of sensations from his own body, many times repeated in changing conditions of perception (sitting, standing, hunger, eating, etc.) become gradually defined; this is followed by the differentiation of the relationship between the elements of this complex; in the course of this differentiation, our conception of the Ego is formed. Consequently, the formation of the Ego is a case of the development of an idea expressing the causal relationship between the objects of our thoughts; I gave an analysis of this process in a previous chapter, when discussing the general course of mental evolution. In the present case *Peter* (or I,—which is practically the same) is erroneously regarded as the cause, and Peter's actions—as the effect. The child makes even two mistakes at once. His first mistake is that instead of concluding (from the fact «*I go for a walk because I want to*»), that going for a walk is always a result of the desire to take a walk, he omits the middle phase of the reflex. His second mistake is that he regards as the source of the act, not the external impulse that leads to the desire, but his own person. The cause of the second mistake has already been given. As for the first one, I think it is due to the rapid change of impressions and their comparative vagueness in the child, owing to which the desire preceding the action is often too elusive to be noticed by the child. It must be added that a child does many things because it is told to, and must therefore regard its mother and nurse as indomitable powers which produce certain actions in it; the same standard is applied by the child to the actions which it performs in response to inner stimuli; and as these inner stimuli do not in the least resemble its mother and nurse, it is perfectly natural that the child should attribute its actions, not to indistinct desires, but to its Ego.

Consequently, the child, at this stage of its mental development, is right in those cases when it says that its mother has ordered it to do a certain thing; but it is wrong in those other cases when it asserts that it is itself

the cause of its action; and in both cases it makes the mistake of omitting the middle phase of the reflex.

But may be, these capital errors are corrected in the later course of mental development? Not at all. On the contrary: the child obeys many years the will of other people; consequently, the child has every day more reasons to associate the powers that direct its actions with human personalities. At the same time, the external impulses that determine the so-called voluntary acts of the child become gradually more habitual, i. e. less noticeable. Finally, the progress of mental development is accompanied by a frequent inhibition of reflexes,—even when the desire is great. In such cases, opposite motives call in different directions and if the inhibitory motive conquers in one case and does not in another, this is another argument for separating one's self from one's actions. Consequently, the reasons for regarding one's self as the initial cause of one's actions increase with mental development. Add to this our immoderate use of phrases where the word *I* stands in the nominative case, and is followed by a transitive verb. On the other hand, the mistake of omitting the middle phase of the reflexes (i. e. the inner impulses leading to our actions) becomes gradually less frequent. These impulses are colloquially (and very aptly) called our «inner voices», and in many cases we even admit that our actions are decided by these voices (we obey the voice of passion, or that of reason, etc.); but the current opinion that our Ego is the final cause of all our actions. What is the cause of this contradiction?

We are accustomed to ascribe to our *Ego* not only our actions but even our inaction: «I want to do a certain thing,—and do it; I don't want to do it, and I don't; I can do it, and I do it; I can refrain from doing it, and I don't do it; I can do it, but I don't; I can refrain from doing it, but I do it». Just try to doubt the strength of a young gentleman of five who imagines he is a Hercules,—and he will immediately go to the wardrobe to try and lift it. He is perfectly sure he can do what he wants! Every one knows that children, and young people in general, are the most cock-sure people in the world. It is also clear that if a child easily imagines he can do anything in the world, it is still easier for it to imagine that it is negatively omnipotent. An effort,—however small,—must be made to bend a finger; but no effort is needed to refrain from bending it; and the child is perfectly aware that it is *himself* who is not bending his finger, not walking, etc.; he is himself the cause of all his states and actions. It is true that the voice of his mother, nurse, or teacher puts a limit to his inactivity,—but every step against orders is again a proof of *his power not to do* what he is told to; so is the watching of a fly during lessons, etc. The same idea is present in the little tricks by means of which the child tries to avoid doing what he is told to do. And when, with age, he is watched less attentively, the opportunity to infringe orders increases, and the child inevitably comes to the conclusion that if he wants to he can refuse to obey. It is easy to understand that this has absolutely nothing to do with the will of the child: he does not obey because another voice is calling him in another direction; but as he is accustomed to regard himself as the cause of all his actions, his disobedience cannot be an exception,—especially when it is followed by the punishment of his guilty body. At school, the yoke

is double: it includes not only the voice and presence of the teacher, but also the lesson itself; but the school-boy has *the right to disobey* the voice at certain times. As soon as the lesson is over, the smart boy, conscious of his rights, makes fun of the teacher, before whom he stood trembling a moment ago. At this period of life, the meaning of «I can» is to be able to follow blindly the voices that call us out into the fields and meadows to play, to run, to throw stones at passers-by; and the negative meaning of «I can» is to be able to evade the meddlesome voices of parents and teachers.

But there comes a time, and something changes in the soul of the school-boy. The voices of childhood are less distinct; new images visit him instead: Alexander the Macedonian, in helmet and armour, of whom he has heard so much at school; the life of ants and bees; pictures from his school-books. The commanding voices of his mother, teachers do not seem as tedious as before. This is a most important period in life: during this period, the voices of duty, honesty and kindness begin to speak in the human soul. Unfortunately, education rarely helps the development of these voices; but when it does,—and expecially when this positive influence of education lasts throughout youth—the child grows up into a man who forgets that it is possible to disobey the voices of heart and reason, a man whose good deeds come without constraint and who is deeply convinced that his way of acting is the only right and natural way. Usually, however, things go otherwise. The story of the youth and the man is a repetition of the story of the child: sometimes, he obeys the inner voices which speak to him like a loving mother or a stern and clever father; other times, and in apparently the same conditions, the opposite happens; and then the former mode of action comes to the mind, not only to reproach, but also to strengthen the knowledge, acquired in childhood, that the voices can be disobeyed. And only one thing is forgotten: we disobey one voice merely because we obey another one.

Our deeds are guided, not by the phantom *Ego*, but by our thoughts and feelings; in other words, the third phase of the reflex is always caused by its second phase: when an action is stimulated by moral feelings we call it noble; when it is a result of egoism—we say it is selfish: when it is dictated by a low animal instincts the action is dishonourable. Even in the acts of madmen, these two phases of the total act are correlated. This gives us the right to assert that the conscious and reasonable mental activity of man is based on the same nervous mechanisms as the motor effects of lower nervous processes, where the middle phase, or sensation, regulates the movement to the benefit of the organism.

IMPRESSIONS AND REALITY [1]

§ 1. The question which I shall examine in this brief sketch is of greatimportance for every intelligent person. Every one is curious to know whether there exists any, and what sort of, likeness between the objects of the external world per se and the impressions which human consciousness receives of them. For example, do the colours, lights and shadows in a hilly landscape exist in reality, or are they mirages of the senses, created by our neuro-psychical organisation under the influence of such properties of the external forces which we do not know? In other words, is our consciousness a mirror of the surrounding reality and to what extent? If this question is put directly, i. e. if the external source is taken as the cause, and the impression as the effect, the problem appears to be insoluble. For, indeed, every impression that comes from the outside is based on a form of sensation which cannot be disintegrated, e. g. what we call the sensations of light, taste, smell etc.; and although this sensation depends not only on the structure of the recording organ but also upon the external source, the latter leaves no trace in the sensation. Thus, the feeling of pain contains no direct indications of its cause. The origin of the feeling of sweetness and bitterness in substances is absolutely incomprehensible. In what way the feeling of light arises from vibrations,—i. e. from motion,—is again an insoluble puzzle. In a word, in the entire field of sensation there is no direct connection between the feeling and its external source. Many think such a transition cannot even exist, because the feeling is not commensurable with the external material processes which evoke it[2]. And they say by means of the sense organs we receive only a sort of explanatory legend of the outside world.

§ 2. But how is it possible to reconcile this seemingly conditional understanding of the external world with the advances in natural science which give man an ever-increasing power over the forces of nature? How can it be that though this science deals with conditional sensory signs of the inaccessible reality, the result is a more and more harmonious system of knowledge? For there can be no doubt that it is real knowledge because it is incessantly being applied in practice, and we owe to it the successes of technology.

---

[1] Notwithstanding the popular exposition of the subject, this article represents the solution of a very important scientific problem. (Note of I. M. Sechenov.)

[2] This last argument is considered to be a strong one, but it is logically false, for to assert the incommensurability of certain objects we must know these objects; whereas the external is supposed to be unknown.

Such a sharp divergence, or even contradiction, between the basic impossibility to know the outside world and the practical achievements of science is well known to thinkers, and the following compromise has been established as a reconciliation. The knowledge of the external world may be unconditional if the laws of the mind on which our knowledge of the external world is based have the same roots as the laws of all that is and takes place outside of us; or (at least!) if these laws stand in strict relationship with each other. The first supposition has not as yet been proved, so that the second one is at present accepted; and this second supposition is believed to be unquestionable. This permits me to draw the following two conclusions.

The compromise is based on the following propositions.

The identity of sensory «signs» of external objects must correspond to the identity of realities; their similarity—to the similarity of realities; and finally, the difference of signs—to the difference of realities.

Further, if we thus accept the existence of a strict correspondence between the laws of the imagined and the real, we thereby admit the possibility of partial resemblances between what we imagine and what really is, as the simplest form of this correspondence.

§ 3. This inevitably leads to the following consideration. Is not our belief that reality is inaccessible due to the circumstance that when we compare external sources of impressions with the impressions themselves we generally juxtapose the external causes with such forms of sensation which cannot be disintegrated, e. g. with the sensations of light, sound, bitterness, pain, etc., or to the fact that we juxtapose only the extreme members of long series of causes and effects, without paying attention to the intervening links which connect them? It is even possible that in some cases of complex impressions such links have already been found, and that only the pressure of strictly established dogmas prevent us to pay attention to those links as the factors that determine the full or partial resemblance between a source of impression and the impression itself. There remains but one step from this to the effort to examine from this point of view all the physiological data concerning sensation.

But where and how shall we seek unquestionable proofs of the similarity of reality and impression?

These proofs are most probably to be found in the activities of such organs of sense as are constructed on the pattern of physical apparatuses, that produce such forms of sensation as can be disintegrated and concerning which we have some sort of knowledge as to the relationship between the sensations and the structure of the organ. As for the question of how to look for the conditions of similarity, the best is to illustrate this with examples of such physical combinations where primary cause and final effect are similar to one another, and are joined with each other by connecting links, thus forming with the latter a so-called causal series.

Why does a string tuned to a certain tone vibrate in response to a sound of the same pitch, even when the instrument producing this sound is separated from the string by a considerable layer of air? Because the source of the phenomenon (the vibrating body), the intervening medium (the vibrating air), and the last member (the string which reacts to these vibrations) are

all links of one system, and each of these links is capable of vibrating with the same frequency. If the body producing the sound were a clarinet and the body sounding in unison a string, there would be merely a similarity of cause and effect; but if there were strings on both ends of the series there would be identity.

Let us take a more complex example, the telephone. Here, the matter is essentially the same as in the first example; at one end, the sounds of a human voice produces vibrations in the receiver; at the other end, a second receiver reproduces similar vibrations, and the latter are caught by the ear in the form of speech. The difference between this example and the preceding one is the intervening medium. In one case—the air, with its nearly ideal elasticity and the extreme mobility of its particles, owing to which it can vibrate in unison with the most diverse vibrations of the sounding body; in the other case—an electromagnetic device that is distorted at both ends. The function of the two media is, however, similar; they both transmit all the characteristic features of the vibration without change. This is the guarantee of the similarity between the first and last members of the causal series. Let us imagine a physicist listening on the telephone, at a distance of several miles, to the speech of an unknown person. The voice of the speaker, as the first member of the causal series, is an unknown X; nevertheless, knowing the properties of the telephone, as the connecting link in the causal series, the physicist is certain that the voice which he hears is similar to the actual voice of the speaker, though he does not hear it.

The similarity between the first and other members of the causal series, is thus unquestionable if it is known that it is based on a similar activity of the first and last members, and that this similarity of activity is not destroyed by the connection existing between them; or if the similarity is deduced by us from the form of connection between the beginning and the end of the phenomenon. In the latter case, one of the extreme members of the series, e. g. the first one, may even remain concealed from us (as the voice of the speaker at a distance of several miles); all we need to have at hand is the connecting link (telephone) which determines the form of the connection. The unknown first member is found approximately in the same way as the unknown member of a geometrical proportion; the unknown external member is related to the connecting link as the latter to the final effect.

§ 4. Basing our examination of the facts accumulated in the physiology of sensation on the above considerations, we come to the conclusion that the solution of the problem can be found only in the sphere of vision. In this field the connection between the forms of sensation and the structure of the organ is more clearly expressed, and the character of the developed impression is more definitely objective. What is going on before us is not a personal experience for us: we locate all objects which we see as immediately outside us. This projection of our impressions to the outside—a sort of materialisation of the sensation,—can be compared with the reproduction of an object in a flat mirror, with the only difference that a physical mirror gives the image behind itself, whereas the mirror of our consciousness reproduces it before itself. Owing to this, the visible image, i. e. the sensory sign that corresponds to the external object and, at the same time, repre-

sents the final member of the series of causes and effects of which the act of vision is composed, becomes accessible to observation just as much as any material object[1]. This removes the incommensurability of the impression and its external cause (i. e. of the sensory act and the material object),—an incommensurability which has led many thinkers to assert the fundamental impossibility of comparing these two phenomena. Moreover, in the series of causes and effects forming the act of vision, there is always, between the two extreme members of the series, a middle member of great significance for us.

§ 5. When a person receives an optical impression, the external object (the view of which is unknown to him) and the image of that object in his consciousness, are connected through the intermediary of the image of that object on the retina of the eye. This intermediary link is the transitional bridge which we want. Its connection with the external object (the unknown) is purely physical and is identical with the image that is obtained on a screen by means of a convex lens because the image on the retina of the eye is produced (chiefly) by the crystalline lens of the eye,—a body which has the form of a convex lens. Moreover, the physicist asserts that the external object and its image as produced by a lens are similar; and on this authority the physiologist asserts the same concerning the image of the external object on the retina. At the first glance it might appear strange that both of them assert the likeness of two absolutely unknown things,—the external object and its image on the screen or retina,—and yet both of them are right. However, this is in fact so, because when we observe an external object and its image on the screen or retina we receive two similar sensory signs; now, according to the law of strict correspondence between the apparent and the real, this similarity must point to the existence of an actual likeness. This shows that the likeness of the unknown external object and its image on the retina cannot be doubted. But between the image on the retina and the image formed in our consciousness (i. e. the impression!) physiology also sees a likeness. The reproduction on the retina of a triangle, a circle, the crescent of the moon, a window frame, etc. is felt in consciouness as a triangle, circle, crescent of the moon, etc. An indistinct image on the retina gives an indistinct image in consciousness, an immovable point appears immovable, a flying bird appears moving, dimly lit points of the image remain dim in our consciousness, brilliant points glitter, etc. In a word, our consciousness reproduces the images on the retina just as well as the retina and the optical system of the eye reproduce the objects of the outer world. Now, if the first member of a series is similar to the second and the second is similar to the third, we conclude that the third is similar to the first; consequently, the unknown external object (the object in itself) is similar to its optical image in our consciousness.

§ 6. But is it possible to assert this similarity with the same degree of assurance for all the characteristics of the optical image—figures, colours, light and shadow? The image reproduced on a screen and on the retina, is

---

[1] In daily life the visible image of an object is taken for the object itself, which is, of course, wrong.

always flat, while the external object has usually three dimensions, and is reproduced in our consciousness also in three dimensions. Consequently, the similarity between the connecting link and the extreme member of the series is not complete; at the best, it corresponds to the similarity between an object and its pictorial reproduction on paper or canvas. Moreover, our argument is to a considerable extent based on the convex form of the crystalline lens of the eye, to which it owes its capacity to reproduce correctly the linear form of the object; whereas in the reproduction of the colours, light, and shadows, the form of the crystalline lens plays no rôle.

I answer straightforwardly: the correctness of the reproduction in the eye of reality can be demonstrated only for those features of the optical image which can be expressed in a sketch in linear forms, i. e. for the outline of the object and those detailed lines which express the excrescences, necesses, edges, cracks etc. on the surface of the object. The similarity of retinal image and reality as to colours, light, and shadows cannot be proved. It is impossible, for example, to assert even that two persons see the same colour in the same way. In my childhood, I was taught to apply the word «blue» to the colour of blue objects, and I have done so all my life; but this does not mean that my sensation of blue is similar to the blue of another person, because this other person also calls the colours by the names he was taught to. Now, it is highly probable that all people with normal eyes see an ideal circle or an ideal quadrangle in the same way because since the time of Euclid not a single student of geometry has ever seen a circle or quadrangle in contradiction to the geometrical properties of these figures.

§ 7. How, then, are we to understand the above conclusion? We have said that the eyes are capable of reproducing correctly the outlines of an object, but that it is impossible to know whether our earthly world is filled with light. But since optical outlines cannot exist without light, it follows that the optical outlines of visible images are, perhaps, also an exclusive product of our neuro-psychical organisation and have nothing in common with reality?

For the sake of simplicity, I shall discuss this question, using as an example some flat object, for instance a cardboard figure of no definite geometrical form.

The form of such an object can be determined not only by sight, but also in the absence of light, by means of touch. The handicraft of the blind who have learned their art without help is a direct proof of this, showing, moreover, that in general there is very little difference between tactile and optical sensations[1]. On first thought this may seem strange, since the tactile and optical sensations are quite different; but this is easy to explain. For the perception of outlines, it is necessary 1) to distinguish the two adjoining heterogeneous media, and 2) to have means for determining the form of the boundary-line between them. The optical heterogeneity of substances corresponds to the difference of media perceived by the eye, and the

[1] In the village where I was born, there lives perhaps to this very day a blind man, who, has made a violin with his own hands and without outside help. This violin cannot be distinguished in appearance from other instruments of this sort.

different degrees of flatness (or, more correctly, the resistance of objects to pressure) correspond to the difference determinable by touch. As for the form of the boundary line, physiology teaches us that it is determined in both cases by the movement of the sensory organ,—the eye or hand. The very same movement which is made by our hand when, by means of a pencil, it draws the outline of an object on paper, is also made by our eye when we are looking at the same object, or by the hand of a blind person when he is feeling this object. This explains how one and the same object can be determined in two different ways, and also how it is possible to verify sight at any moment by touching the outline, if the object is within reach. This is done in the following manner: we fix our eyes immovably on some point of the outline: at the same time we approach a finger to this point. At the moment when the eye sees the contact of the finger and the outline, the finger receives a tactile sensation; this coincidence is repeated in all points of the outline of the object. In other words, the observer, acting as if he were a student of geometry, proves to himself that the outlines of the optical and tactile images coincide.

After this, no one will assert that the optical outline may be a fiction with no real basis. As a concept, the outline is undoubtedly an abstraction, but as a sensory sign it is the boundary between two realities, because on the strength of the correspondence between the apparent and the real, the difference of mediums which we perceive must correspond to an actual difference between them. Indeed, if, instead of the boundary line, we set up a system of boundary-points consisting of one of the material mediums we shall obtain the outline of reality. If we paste some excrescences or make cracks on the surface of the cardboard figure which faces our eyes, the verification by touch of the optic sensations caused by these details on the surface will again give a correspondence of the optical and tactile sensations of form; thus we obtain those strokes of the pencil which reproduce in a sketch the surfacial unevenness of an object.

The analogy between the optic system of the eye and a biconvex lens, viz. the property of both to reproduce images which are geometrically similar to objects, is our main argument; therefore, the presence of lentiform bodies in the eye of all verterbrates, and even of some insects, leads us to suppose that for these animals the visible and the real are also geometrically similar.

§ 8. Our argument has up to now been concerned with a single object; now we shall take a group of objects and dispose them in several planes, as in a landscape, with empty intervals between them. If the group is very far from the observer, he can throw its image on a screen with the help of a lens, and this image well be similar to the image in the eye. In both cases,—the lens and the eye,—the group of objects separated by empty intervals is equivalent to a single object composed of heterogeneous parts separated from each other by spaces; consequently this case does not differ from the one analysed above. If the group stands close to the lens, it is impossible to receive a clear image of all the objects on the screen. Not so with the eye: we not only see all the components of the group and the intervals between them,—we also see that the objects do not stand in one plane—one

is nearer to us, another is further off, etc.; in a word, we see the depth of the picture.

In order to learn this manner of seeing we use (quite unconsciously) the very same method which is applied by the topographer or land-surveyor to record on his plan points located at various distances from him,—e. g. the points *a*, *b*, *c*, *d*, and e in fig 1. For this purpose, he selects two new points (A and B) from which all the points that must be recorded are clearly seen, and measures the distance between them by means of a chain. After this he determines from the point A the angles aAB, baB, cAB, etc. by means of theodolite. The same is done from the point B, for the angles aBA, bBA, cBA, etc. Knowing now the length of AB and the size of all angles from A and B, he determines the orientation of AB to the four cardinal points; this is done simply by measuring the angle between AB and the N—S direction, i. e. the direction of the needle of the compass. After collecting all these data, he draws on a sheet of paper NS and AB (the latter in diminished scale); now, without moving from his place, he can correctly locate the points a, b, c... onl his plan. To do so, it is sufficient to mark off from AB the angles which he has measured; the intersection of the lines Aa and Ba gives the point a, the intersection Ab, Bb gives the point b, and so forth. Consequently the only thing we need is that the angles aAB and aBA, bAB and bBA at the ends of the line AB should be known, and that the line AB should be of a definite and unchanging length.

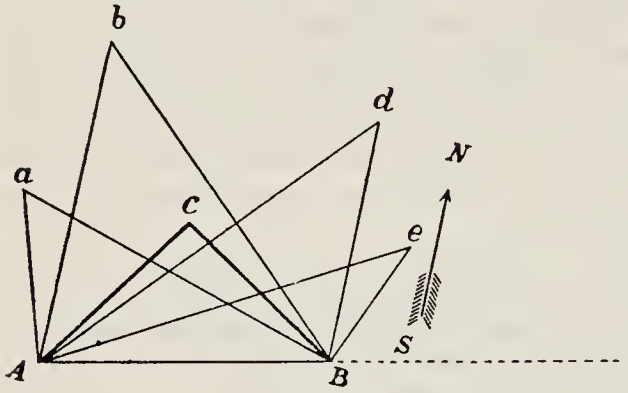


Fig. 1.

Now, instead of the topographer, let us imagine simply a man looking alternately at the points a, b, c, d, and e, and let us call the line that connects the centres of his eyes AB. Then in the points A and B, instead of the theodolite will be the eyes, capable of revolving from temple to nose and back; when both eyes are looking at the point a, the line Aa will be the optical axis of the left eye and Ba—the optical axis of the right eye. The man measures the angles aAB and aBA, just as the topographer does, but in this case the angles are measured, not in degrees, but by the sensation from the contracting muscles of the eyeballs (convergence of the optic axes). This instrument is not so exact as the theodolite; therefore, the determination by the eyes of the distance of the points a, b, c,... from AB is only approximately correct. But when all the points, one after another are subjected to the same operation, the difference in their distance will be very clearly felt.

Consequently, the method used by the man for the visual determination of the position of objects in space is essentially a geometric method, but with a less exact instrument for the measurement of angles than the

theodolite. If we accept the infallability of the results of geometrical measurement, we cannot but agree that in relation to the question which we have just examined, the eyes reproduce reality approximately correctly.

§ 9. I feel that the following objection will now be made. We see the objects around us not as they are really placed in space, but in perspective, the size of the objects lying in different planes is thereby changed; so is their distance from the observer; so that parallel lines may appear converging, circular lines become eliptical, etc. Is not this a distortion of reality by our sensory organs? The answer to this question is simple. It is known that any given group of objects can be sketched in perspective with the help of definite rules of geometry, if only the position of the eye of the observer is known. Consequently, to prove, that vision in perspective is based exclusively on geometrical factors, it is sufficient to show that when a person is looking at the surrounding objects with two eyes, he sees them as if the optic axis were issuing from one point of his body.

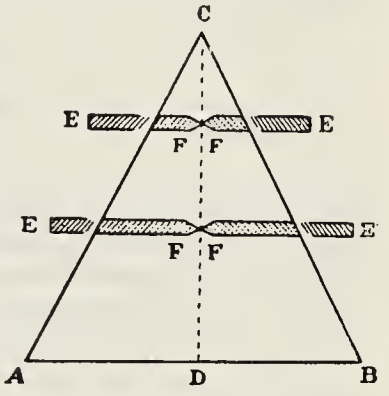


Fig. 2.

Indeed, physiology teaches that when a man is loooking at an object with both eyes he relates every point in space to the point on the bridge of his nose halfway between his eyes. Direct lines drawn from this point to the points in space show the position of the objects in relation to the observer, while the distance from the objects to the observer is measured goniometrically, i. e. by the degree of convergence of the optical axes. The existence of such a point on the bridge of the nose can easily be demonstrated by the following experiment. Stand before a window at a distance of about a foot and a half from it; mark with ink the point C on the window-pane (fig. 2). Now fix your eyes (A and B) on this point, and at the same time approach your fingers (E and E) from both sides, slowly moving them towards one another in the space between your eyes and the window. The moment the tips of your fingers have reached the optical axes AC and BC, it will seem to you that at the tips of your fingers two semi-transparent appendages (F and F) have grown, meeting at the line CD. You can perform this experiment, holding your fingers nearer to the window or nearer to your eyes; the result will always be the same. This means that every point on the converging optical axes is transported from these axes to the line CD, one end of which D is the middle of the bridge of the nose AB, and the other end is the point C which is being looked at. Consequently, when we look with two eyes we do not see the bridge of the nose, and it always seems to us that we are looking with a single eye, lying just between the real eyes. The point D is the centre of this imaginary cyclopic eye; it is the visual «Ego» of man, when he feels that one of the objects he is looking at lies further,—another one nearer, or one to the left, another one to the right, a third one above him and so forth. In all these cases, it is the point D that stands for the actual man.

§ 10. Now that we know how man determines the direction and distance of objects by means of his eyes, it will be easy to show how our eyes measure the size of objects,—or, more exactly, their height and width[1].

Let us imagine that before the cyclopic eye M (figure 3) of a man stand, one behind the other, three objects AB, CD and EF, all on the same level, and seen from the same angle EMF. These objects will seem unequal in size: their heights will be in proportion to their distance from the eye, i. e.

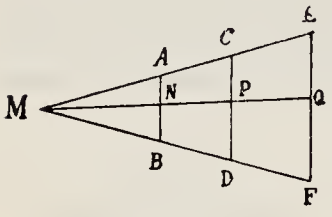


Fig. 3.

$$AB : CD : EF = MN : MP : MQ.$$

In other words, for the human eyes, the sizes of objects are relative depending upon the distance of every object from the observing eye. From this it follows that when a person has to compare the height of objects, he must look at them from the same distance. In that case one of the factors (the distance of the objects from the eye) is eliminated, and the difference in height of the objects is learned by the difference in the corresponding angles EMF, CMD, and AMB (figure 4). The optic axes of the observer repeatedly move up and down along the height of the object, or right and left along its width, in the same way as the legs of the compass move in the hands of the student of geometry when he is measuring angles.

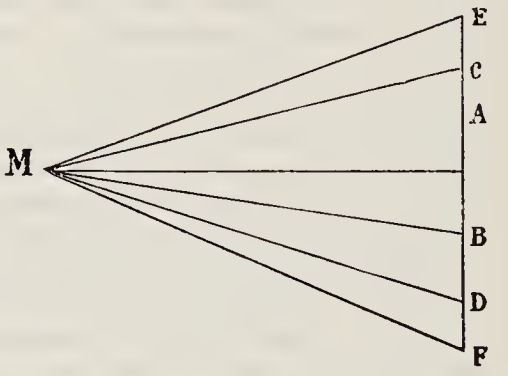


Fig. 4.

This means that the determination of the comparative size of objects by our eyes is also based on geometrical principles.

It has been said above that for the human eyes the apparent dimensions of an object depend upon its distance from the observer and are, therefore, relative. This is proved by optical illusions,—(phenomena that seem very strange, but are very easy to explain) when something draws the attention of the observer away from the object under observation. I have it from a hunter of wild fowl that if a fly passes a few inches before the eyes of the hunter at the moment when his dog is on the scent and he is concentrated heart and soul on what the dog is doing, he takes this fly for a flying bird. The error in this case is due to the fact that the image of the fly is taken by the hunter not in inches as it should be, but in yards, according to the distance from the dog. At a distance of several yards, the image of the bird on the retina would be of the same size as that of a fly at a distance of several inches; this is why the fly is taken for a bird.

---

[1] These dimensions can be determined without changing the position of the object; thickness can be measured only as the width of an object when it has been turned at a suitable angle.

Therefore, sight (and in blind people—touch) gives us not only knowledge of the form and distribution of objects in space, but also approximate knowledge of the comparative size of objects.

It is impossible to go any further in the comparison of motionless objects (such as they are in reality) with their images (such as we see them). I shall only give one last argument which may serve as a general proof of the different conclusions arrised at above. This argument, without being important in itself, gains value in conjunction with our preceding statements. Everyone knows that men and animals, when moving among the objects that surround them, are directed by the information which their eyes give them. This information is very valuable for them, for it is both rapid and exact, and permits them to move at a very fast pace among numerous obstacles,—for instance, in a forest. Now, this information could not be so valuable, if the image of the outer world, as reproduced by our eyes, did not correspond to reality. It is true that correct results may be obtained even with imperfect tools, for errors of observation can be corrected by judgment, and once the habit of correcting is acquired, the imperfect instrument will be used correctly. But if this were so, all optical errors in relation to locomotion, as well as all efforts to correct these errors by judgment, would be specially noticeable in the child; however, there exist no observations to that effect.

Now let us turn to moving objects.

§ 11. If we call a «phenomenon» any sort of perceivable change in the state or position of bodies, perceptible movement is the simplest of phenomenons. Our eyes are the chief instrument for observing such phenomena; and it is a source of astonishment for every intelligent person that this instrument is so perfect in this respect that even an uneducated man knows well all those properties which characterise motion according to such an exact science as mechanics. Those properties are: the direction of the motion and its speed.

How does man become acquainted with the properties of motion?[1]

Daily experience shows that when we follow with our eyes a moving body we converge our optical axes on the moving object and keep them fixed on it throughout the whole of its movement. Our eyes act in this case exactly in the same way as when they follow the outline of a motionless object by moving their crossed axes along this outline; with the difference, however, that here the optical axes must in this case often become longer or shorter. In this respect they can be compared to two very long antennae capable of increasing or diminishing their length by many yards depending upon whether the moving object recedes or approaches. These antennae repeat not only the entire path of the object, but also the changes of its motion along its path: for the movement of the optical axes is effected by means of the movement of the eye-balls, which is due to the contraction of the muscles of the eyes; and everyone knows from the movements of his own hands that muscles can contract with different speeds. This is why our eyes are capable of registering simultaneously the two fundamental properties of motion,

[1] I shall examine here only the case when a man determines the motion of bodies, remaining himself in one place.

i. e. direction and speed (including also all changes of direction or speed).

This fact is of very great significance, for it is the only case in the organisation of man, where the object of perception (the moving external object) and the instrument of perception (the sensory organ which moves along the same path as the object) correspond to each other in their activities, just as two consonant strings, or the transmitter and receiver of the telephone.

It is obvious, therefore, that in relation to those movements which the eye is capable of watching, there is a coincidence of the apparent and the real.

Herein lies, I believe, the chief reason why motion is the simplest of all the phenomena in the universe, and is so easy to understand; why the sciences that study the external world strive to explain all phenomena as motion; and why the physicist, if he is able to reduce a phenomenon to motion, considers that he has fully explained it, even if the motion which serves to explain it is too rapid to be observed. This is because the motions of which the physicist speaks, and which are inaccessible to our sensations, differ only quantitatively from those motions which we can observe; and because our perception of the latter is not conditional, but direct.

It is obvious that all my argument are based on the deep conviction of man that the external world exists, a conviction as deep, or even deeper than our certainty that to-morrow morning, when night is over, day will come again.

THE ELEMENTS OF THOUGHT

Chapter 1

The necessity of beginning the study of the development of mental processes in the child with sensation. This is made possible by the modern development of anatomy and physiology, particularly by the work of Helmholtz. The merit of Herbert Spencer in solving the general problem of the relation of thought to sensation. The essence and significance of his theory in comparison to those of sensualists and idealists. Coordination of Spencer's hypothesis with that of Helmholtz.

1. During the mental life of man, only in childhood do we see cases, where thought originates directly from psychical products of a lower order. Only here does observation reveal the existence of a period when the human being does not yet think and then little by little begins to exercise this faculty. It is true that even at a mature age man sometimes forms new thoughts and a new outlook; this is proved by the discoveries performed by man in the field of mentality. But if we analyse such cases, we always see that new ideas, new outlooks of the adult are formed in a way different from those of the child: not from the lower forms that precede thought, but from a chain of ideas, i. e. from equivalent forms, by means of long and sometimes quite unexpected juxtapositions. The fact is that the elementary forms preceding thought no longer exist in the mind of the adult,—whereas the mind of the child is swarming with them in the premental period.

Simple observation shows further that in a child the roots of thought lie in sensation. This follows from the fact that all the mental interests of the child are entirely concentrated on objects of the outer world, and these objects can be perceived only by sensation (chiefly sight, touch and hearing). We think only in terms of familiar objects, or in terms of those of their qualities and relations which are known to us; therefore the capacity to differentiate objects, to recognise them, and later to distinguish their qualities and relations must be acquired before thought. For all this sensation is a pre-requisite. Therefore we are able to indicate the very roots from which thought originates in early childhood, and we can safely distinguish the more elementary forms from their derivatives.

The mental process in the adult is not so simple. Here, in the analysis of every case of the development of a given thought (and there may be thousands of such cases with respect to any educated person) there is no question, as in the child, of the thought arising directly from sensation, for between

the mental product and its sensual root (if it still exists!) there lies such a a long chain of transformations of one mental state into another, that we often loose all traceable connection between the thought and the initial sensory image which has led to it. The fact is that an adult thinks not only in terms of sensory concrete objects, but also in their derivatives,—so-called abstractions. His mental interests lie not so much in the individual peculiarities of objects, as in their mutual relations. The mental world of the child is peopled more with units than groups, while in the adult the whole outer and inner world is classed according to a number of systems. The thought of the child is from beginning to end permeated by sensation, while the thought of the adult follows the path of abstraction and its functions lie therefore almost always beyond the limits of sensation, in the realm of the supersensory. The adult reduces the outer world to matter with its unseen atoms, he explains its phenomena by the play of unseen forces, he speaks of correlations, causes and results, order, law, etc. Therefore even when he thinks in terms of concrete objects («object thinking») the adult goes far beyond the limits of sensation. Moreover, the mind of the adult has before it a wide field of purely mental or moral relations, where thought deals either with such mental formations for the perception of which there exists nothing like our sense organs, or with such as are separated from their sensory roots by abysses deeper than those that separate atoms and real objects.

It is obvious that the mental process of the adult may be a derivative of the mental process of the child, i. e. a higher stage of development of the same process; or it may be based on some other factors or forces. In both cases it is more complex and therefore cannot possibly serve as a starting point for the study of thought as a process.

This study must necessarily begin with the genesis of the thought of the child from sensation, or,—more widely,—with the genesis of «object thinking» from sensation.

We are led to this conclusion not only by the natural order of the development of mental acts in man, but also by the wise rule adopted in the study of nature, according to which a student of nature begins the study of a series of related phenomena with those which are more simple and the development of which is more clear. For this reason we must begin from the natural beginning, even if later we come to the conclusion that the development of thought from sensation cannot be applied to the more complicated forms of mentality.

2. This point of view is not new: it has been shared for a long time by many representatives of various schools of philosophy. But it produced no practical results till the second half of last century, and the study of mental processes was doomed for ages to develop exclusively on the ready-made patterns of thought which are impersonated in speech. In other words, the study of the development of mental processes was begun from the middle, and not from the natural beginning, and moreover, not in its initial or basic forms, but in its derivatives. This was due to the following facts.

It may seem natural to begin our study with the mental processes of the child; but to study the question in that way, we must first know the basis of these processes, viz. the sensation, or the system of primary sensa-

tions. Now, sensations can not be studied solely by the observation of children; on the other hand, the infantile elementary forms of perception are no longer present in the consciousness of the adult.

It is clear that under these conditions, the primary forms of thought remained inaccessible to investigators till anatomy and physiology had elucidated the structure and function of the different elements that compose the system of sensory instruments in our body.

Owing to the recent achievements of the anatomy and physiology of the sensory organs, and especially to the work of the great German physiologist Helmholtz, these difficulties no longer exist. For those who are familiar with the anatomy and physiology of the eye, there is no need to observe children in order to know the composition of elementary (i. e. primary) optic perceptions: this composition is, so to speak, a logical consequence of the anatomical structure and physiological properties of the eye.

The result is that it has now become possible actually to study the mental processes from their natural beginning.

3. Another, and no less important, success in the study of the mental development of man in general, we owe to the famous English scientist, Herbert Spencer. It is only on the ground of Spencer's hypothesis concerning the sequence of stages of neuro-psychical development from age to age, that we can solve the ancient philosophical problem of the development of mature thought from initial infantile forms, i. e. the problem of the development of all mental processes from sensation. To Spencer we owe the establishment, on the basis of very wide analogies, of the general type of mental development in man, as well as the proofs of the fact that the type of evolution of mental processes remains unchanged through all stages of the development of thought.

The present essay is based on the theories of Spencer; therefore, our first task will be to expound the main principles of his theory. However, it would not do to start straight away with this exposition. The principles of Spencer's hypothesis become clear only when they are compared to the preceding philosophical theories of two historically famous schools,—the school of «sensualists» and that of «idealists»: these two schools are the two extremes, and therefore evidently summarize all intermediate opinions, i. e. all possible opinions, on this subject. Now, to have a better notion of the views of these schools it is necessary to have some knowledge of those main stages of the development of thought which have always been open to observation, and have therefore long ago become the property of empirical psychology, forming the basis of both sensualistic and idealistic theories. We shall therefore begin with them.

4. The abyss between the mind of the adult and that of the child may seem very deep from the point of view of the objects they deal with; nevertheless, their close relationship has always been recognised. Thoughts are expressed in words, both by the adult and the child, in the typical and well known form of a sentence consisting of three parts. It is owing to the stability of this form in persons of different age, different epochs, and different stages of development, that were capable to understand with equal ease the thoughts of our con-temporaries and those of our forebears. This also ex-

plains the longstanding sequence of thought in the history of humanity. [1]

This means that the outward form of thought is as stable as any other phenomenon of life, i. e. it is based on a definite organisation. In other words, *there must exist some sort of general property, common to all thought (if we regard the thought as a chain of biological processes), no matter what the contents of the thought be.*

This aspect of life can be easily expressed in a general formula, if we temporarily assume (undertaking to prove this assumption later) that the subject and the predicate of a sentence which consists of three members are psychologically equal, and call both of them «objects of thought». Then we have the right to consider every thought, whatever its contents, as *the juxtaposition of two objects showing the existence of a certain relationship between these objects.*

If we analyse from this point of view the greatest possible number of thoughts expressed in words, we shall find a great variety of objects; but there will be no such variety of the relations in which these objects are juxtaposed in the thought. The first part of this statement does not demand any explanation: we have only to remember that a human being takes the objects of his thoughts from the most different spheres the outer world, from a grain of sand to the universe, and all the inner (conscious) world, not only of himself, but of the whole of mankind. The truth of the second half of our statement will be seen from the following.

If we compare a thought dealing with concrete objects (object-thinking) and a thought dealing with purely mental or moral relations, or even with the supra-sensory,—we shall see that in the higher spheres there is not a single form of relations between the objects of thought which can not be met in object thinking. It would seem that man, after his first acquaintanceship with the outer world, transfers his newly acquired knowledge of the connections, mutual dependencies, and interrelations between those outer objects which he already knows, to new objects, in spite of the fact that he recognises that these connections and relations are valid only in their proper place, and that this transfer has for him merely a conditional or figurative sense.

Whatever the explanation of this fact may be, there are two reasons why it is significant.

Firstly, it points to *a close relationship of thoughts of different orders, not only in the general type of their structure, but also from the point of view of the relationship between the objects of the thought, as expressed in their juxtaposition*; this relationship is perhaps the most important element of the thought, for it gives the thought its rational character.

Secondly it shows that *all the relations that man can possibly think of*

---

[1] Sometimes we hear or read that human thought progresses; this does not mean, however, that the mechanism of thought progresses with the development of mankind. The mechanism of thought remains unchanged; it is only the number of thinkable objects and of relations between objects that increase with the improvement of the technique of observation, leading thereby to the expansion of the sphere of possible juxtapositions.

may be studied without leaving the sphere of object-thinking, i. e. without leaving a form of thought which arises directly from sensation.

It follows further that though all the elements of thought may be classified into groups, this is especially true of the relations in which the objects of thought are juxtaposed.

At present, three main categories of relations are accepted, *similarity*, *coexistence*, and *succession* or sequence; consequently, objects appear in thought only in three main forms of juxtaposition, viz. as members of related groups (belonging to the same system of classification), as members of combinations in space, or as members of a series succeeding each other in time.

This shows most definitely that among the organic phenomena which form the basis of thought, those that are concerned with the juxtaposition of objects must be very uniform.

The fourth fact revealed by observation is the gradual progress in the process of thinking from childhood to maturity. This is rightly called the mental development of man. Externally, it is expressed by an increase of the number of objects of thought, and a consequent increase of the number of possible juxtapositions between these objects (even if the general character of the juxtapositions remains unchanged), and in the so-called idealisation (or symbolization) of the objects of thought.

The first point is obvious from the comparison of the narrow sphere of the mind of the child with that of the adult. The increase of possible juxtapositions following the increase of the number of objects, also requires no explanation. Therefore it remains for me to explain the general meaning of the process of symbolization.

In the first stage of its development, the child thinks only in terms of individual objects: t h i s pine-tree, t h i s dog, etc. Later, it thinks of a pine-tree as the representative of a definite kind of tree, of a dog in general, etc. Here the object of thought has become separated from its original, has ceased to be a mental expression of an individual object, and has become a symbol for a group of related objects. With the further increase of the sphere of comparison by similarity, there appear such objects of thought as «plant» and «animal», i. e. ideas representing groups which are considerably larger than «pine» or «dog»; nevertheless, these ideas are expressed by a single (though another) symbol. It is evident that owing to this development of thought, the objects of thought become more and more symbolic and are taken further away from their sensory concrete originals.

But this is not the only manner of the development of thought. Another direction of this development is determined by the mental disintegration of the concrete object into parts, or by the mental separation of the parts from the whole. Each isolated part is thereby individualized, acquiring an independent existence and receiving a definite symbol. In those cases when this mental separation of the parts corresponds to the physical disintegration of the object, the parts may be devoid of symbolic significance; then we speak of one particular part, isolated from a given individual object. But if there is no physical disintegration, or if the given isolated part serves as a familiar symbol for a whole group of similar parts, its significance becomes

again symbolic. The same thing occurs when the products of the disintegration are beyond the limits of sensation.

The third direction of the development of thought is determined by the grouping of isolated parts, according to their coexistence and succession. Our capacity to think in such notions as hour, day, year, century, sand, landscape, Europe, terrestrial globe, universe, etc., are good illustrations of this combinatory capacity.

The sum of these transformations is obligatory for all mental processes, even for thought dealing with concrete objects. It might be called a *transformation of the primary sensory or mental material into ideas.*

Such are the main features of the mental acts. These features have been long known; they were discovered by means of a comparatively simple psychological analysis of the verbal expression of thoughts, and have been used by sensualists and idealists in a very different manner.

5. The sensualists approach the above mentioned psychological data, so to say, directly.

In the life of every newborn human being, there is a period of complete absence of visible responses,—even sensory ones,—in the sphere of the higher organs of senses. Then comes a period when these organs serve as the chief receptors of sensory impressions, but without any conscious efforts on the part of the child pointing to the presence of ideas. Every one of us has passed through this period; therefore the mental development of each individual human being, and of humanity in general, begins from zero (?) and always passes through the sensory phase. At that period of life, the external world provides material for the senses, and the developing natural receptive mechanisms of man transform this material into the sensory products of the mind.

In the next stage, these sensory products give birth to objects-thinking, but according to sensualists the nature of the process does not change. The external world is not a simple conglomeration of objects; the objects are given in their mutual relations, connections and interdepencies. It is the elucidation of the latter in the sensory perceptions that leads to the transformation of simple sensation into object-thinking. Thought is always a product of experience, appearing as a result of repeated contact with the object of perception under varying conditions of perception. The sensory product becomes thereby varied in contents; it can be disintegrated into parts by comparison and grouped with other products having common features; it is capable of general development. With the growth of our contact with life, the products of our sensory experience become more and more varied, and the possibilities of their disintegration and grouping into systems are considerably increased.

The sensualists ascribe this process, not only to the primary products of mental activity, but also to all their derivates, and thus the whole chain of mental development is explained by them as a repetition of the process which transforms simple sensation into object-thinking.

Rejecting the presence in man of any other organisation beyond the sensory one, they consider that the only source of thought (both in form and contents) is the action on man of the outer world, with the interrelations and

interdependencies of its objects. For them, the whole mental side of thought is determined, not by the human intellect or by some extra-sensory properties of his nature, but by the relations between objects and by the interdependencies of the external world. This school regards thought as nothing more than sensation developed by means of the varied grouping of its elements.

Idealists consider this question from a quite different point of view. On the assumption that our perception and cognition of the external world is indirect, they consider the whole conscious side of mental processes, not as the expression of the actual inter-relations and dependencies of objects, but as forms congenital to man, as laws of the mind itself, which transforms impressions into ideas and creates thereby what we call the interrelations and interdependencies of objects.[1] While the sensualist regards the external world, with its variety of relations and dependencies, as the principal factor of mental life, the idealist ascribes this rôle to the specific spiritual organisation of man,—an organisation which obeys its own definite laws, and which invests the external world with symbolic forms called impressions, representations, notions, and thoughts.

The scientific failure of both systems is at present perfectly obvious.

Sensualism has always suffered from the lack of data for the determination of the properties and limits of the sensory organisation of man. Therefore, this school has never been able to give a firm basis to its explanation of the phenomena of association, reproduction and commensuration, or of the resulting formation of ideas, as products of our sensory organisation. The theory of the idealists is equally wrong. Their first fault is that in spite of all evidence they try to reduce all our mental life to the activity of only one factor,—the spiritual organisation of man, leaving out completely the external influences, on the ground that they are not directly accessible to our mind. This is the more strange as nobody will at present presume to assert that the external world does not exist outside the human mind; nobody will deny that the enormous wealth of the activities of the world has been, and will always be, a source of material for the endless chain of mental acts out of which the science of the external world has arisen. The second fault of the idealists is that they have placed the subjective factors which take part in the psychical development, in a special category of agents, differing from everything else on earth, and unapproachable by the usual of methods of investigation. One would imagine from what they say that they have tried all possible material explanations, and only having exhausted all efforts in this direction, have had to recognise the special nature of psychical factors. This shows that the idealistic theory is at least premature.

In the history of the philosophical problem which we are investigating, not all thinkers have belonged to one of the two above mentioned two schools: some of them abstained from extreme opinions, and held intermediate views. But as long as the discussion remained a purely speculative application of traditional philosophical dialectics, no compromise was possible bet-

---

[1] This point of view culminates in the well-known idea of Fichte, that the external world itself is merely the product of our «Ego».

ween the two extremes. Attempts were made to reconcile the two schools by finding isolated examples fitting both theories; but nobody tried to discover those fundamental principles which would make the main contradictions disappear of themselves. Only modern biology has yielded these principles; their application in the field of psychology constitutes the high merit of Herbert Spencer.

6. I shall try to expound as briefly as possible the essence of his theory.

Psychical activity is quite as much an expression of organic animal life as the structure of organisms and their physiological functions.

These three characteristic sides of the animal organism are not only present together, but always stand in a definite correlation to each other; as we ascend the line of animal development, we see a simultaneous increase of the complexity and variety of all three. This correlation is made inevitable by the fact that all three (i. e. structure, physiological processes and psychical functions) cooperate as factors in those activities of the organisms which ensure the continued existence of these organisms.

Having postulated that the degree of development of the three sides of organic life is parallel in various animal species, let us assume for a moment that one of these sides,—for instance, the structure of the body,—is in the whole animal world nothing else than a successive line of metamorphoses; it then follows that the other two sides of organic life must also be the results of a parallel metamorphosis, or evolution of corresponding substrata. In other words, the evolution of all the three sides (form, bodily functions, and psychical functions) must develop in the animal kingdom side by side.

Darwin's great theory of the evolution of species has placed the idea of evolution, or successive development, on such a firm basis that this idea is at present accepted by the vast majority of naturalists. This logically necessitates the recognition, by the majority of naturalists, of the principle of evolution of psychical activities.

Spencer's hypothesis may actually be called the application of Darwinism to the sphere of psychical phenomena. It even appeared at the same time as Darwin's theory, and is practically a part of the general theory of organic evolution. It has the same defects and merits; and even the probability of both hypotheses is the same.

In the detailed exposition of the principles stated above, Spencer defends practically only two points; but these two points are of tremendous importance. He attempts to prove:

1) the existence, in various representatives of the animal kingdom, of parallel correlations between the three sides of organic life, viz. the form of the body, the bodily functions, and the psychical functions, from the point of view of their complexity, variety and precision of expression in individual cases; and

2) the fact that in all animals, including man, the general type of evolution of the three sides is the same.

Fortunately, both these aims may be achieved at once, or at least by studying the same material. Thus, if we place the representatives of the animal kingdom in a progressive order and compare them, first from the point of view of the gradually increasing complexity of their material organisation,

then from that of the development of their physiological functions, and finally from that of their increasing psychical activity, we shall obtain three parallel lines, the links of which represent phases of the progressive development of all the three sides of animal life. The types of evolution may then be revealed by the separate analysis of single lines; while the comparison of the corresponding links of all the three lines helps to solve the question of the parallel development of the structures of the body and of the functions of body and mind. However we must not forget that this successive evolutionary connection between the separate links is only a hypothesis; therefore, in establishing the general type of evolution, it is extremely important to use all known cases of non-hypothetical progressive metamorphosis in the animal kingdom, provided these cases admit of analysis and observation.

The study of the development of animal embryos has been a great help in this respect. Here, in a comparatively short period, a whole complicated organism develops from such a simple structure as that of the egg

Another non-hypothetical cycle of successive changes (a cycle of great importance for the study of the general character of the mental evolution of man) is the progressive development of knowledge in cultured races, as far as the phases of this process are preserved in the annals of science.

The third undoubtedly progressive cycle of petamorphosis is the mental development of a human individual from birth to maturity. But as this last cycle is the object of our investigation, we shall not resort to it to determine the general type and factors of organic evolution, but shall consider it as still unknown.

The general type of the evolution of the embryo in higher animals (the so-called history of embryonic development) becomes clear by comparing the primary form,—the ovum,—and the final result,—the developed organism. The transformation consists first of all in the increase of the volume of the organism at the expense of substances coming from outside. This increase is not a simple accumulation of substance: it takes place along with the multiplication of cellular elements and with their distribution in an increasing number of groups or systems. In the course of this process, the cellular elements undergo various transformations and at last assume the peculiar morphological traits characterizing the elements of the tissues and organs of the adult animal during the rest of its life. Consequently, from the point of view of morphology this type of evolution consists in the differentiation of the primary structure into metamorphosed groups of structures having a common origin. From the physiological point of view evolution is an extreme complication of functions due to increased specialisation, i. e. to the distribution of physiological work among an increasing number of biological instruments or organs.

The type of evolution of structures and functions in the animal kingdom (from one animal form to another) is, in the main, of a similar character. Here also, the progress of material organisation consists in an increasing differentiation of the body into parts and their isolation into groups or organs with different functions. But owing to the separateness of the successive zoological forms, some details of development appear clearer then in

the preceding case. Thus, by comparing closely related forms we see that the differentiation is due, not to the formation of new organs or acquisition of new functions, but to the development by differentiation of what had existed integrally during the preceding stage of development. This comparative study of animal development shows further that material structure and functions do not follow a direct line of development, but proceed along branching paths, deviating in many details. Here, on these cross-roads of evolution, we see clearly the influence upon the organism of its environment, or, more exactly, the influence upon it of the conditions of its existence. This influence is so strong, the correspondence between the details of organisation and the conditions of development is so evident, that there is no need to dwell on this point any longer; we shall merely point out the general conclusions to which these facts lead. First, they enable us to define life at every stage of its development, as the adaptation of organisms to the conditions of their existence; secondly, they prove that external influences are not only necessary for the continuation of life, but are also capable of transforming the material structure of the body and the character of its biological functions.

From this general point of view there is no longer any difference between the life of an individual, species, class, or even of that of the whole animal kingdom, no matter whether we consider in the latter the separate moments of the individual existences composing it, or take it in its development through centuries.

Always and everywhere, life is the result of the cooperation of two factors, the definite, though variable, organisation, and the external influences upon it. It is the same whether we consider life from the point of view of its final aim (the preservation of the individual) or from the evolutionary point of view, because the preservation of life at any given moment is achieved by means of continuous evolution [1].

The next factor in the evolution of the animal world is inheritance, i. e. the capacity of organisms to transmit to their progeny changes acquired during individual life. This property does not admit of analysis; but in one respect it obeys the general laws of evolution: the evolutionary accumulation of traits personally acquired by separate individuals, though it is achieved only by means of heredity, is realized only under the condition that the factors that have caused the deviation from the original form are still exercising their influence. The degree and stability of the variation is always in direct proportion to the duration of the action of the changed external factors (or conditions of existence), or to the frequency of their repetition, if their action is not continuous, but periodical.

In addition to the general progress of the whole organism, there exists, of course, also the progress of the individual organs or systems of which it

[1] This follows from the well known fact that the preservation of life in all organisms is achieved, not by the stability of a structure of the body established once and for all, but by the continuous partial destruction and restitution of its elements. During the whole period of its progressive development, i. e. as long as it grows, the constructive processes prevail; in maturity, the two sides are in equilibrium; in old age, destruction takes the upper hand.

is composed; indeed, the general progress of the organism is the sum of the individual development of each of its elements. Therefore, the progress of the nervous system is inevitably accompanied by the progress of that part of it, which we shall call for the sake of conveniency, the sensory organisation. It is here that the special part of Spencer's hypothesis begins.

In the lowest stages of development of the animal world, the whole surface of the body is equally sensitive; there is no sign of differentiation in this respect. The initial stage of sensibility can hardly be distinguished from the so-called excitability of some of the tissues of higher animals (muscular tissue, for example): both anatomically and physiologically, it is a property of protoplasm capable of excitation and contraction. But with the progress of evolution this undifferentiated form is gradually subdivided into two separate systems,—the motor and the sensory. The contractile protoplasm is replaced by muscular tissue; the evenly distributed excitability gives way to a definitely located sensibility which progresses along with the development of the nervous system. This sensibility becomes still further specialized by being subdivided into the so-called systematic senses (the feelings of hunger and thirst, the sexual feeling, that of respiration, etc.) and the higher organs of senses (sight, touch, hearing, etc.).The general type of evolution remains the same, viz. the differentiation of a whole into parts and the subsequent isolation of these parts into groups with different functions (specialisation of functions). But what a tremendous progress is achieved through this by the animal organism, in comparison to the primary form, in the task of adapting itself to the conditions of its existence! Where sensitivity is equally distributed throughout the whole body, it serves only as long as the external influences act immediately upon the body; but where sensitivity is represented by sight, hearing, and smell, the animal can react to distant influences, in other words, it can find its way *in space*. For this purpose, it is necessary, of course, that the animal should be capable of locomotion; but the evolution of the senses always progresses together with the development of locomotion, according to the law of correlative development of all the parts of the body in the process of its adaptation to the conditions of existence; indeed, sensitivity (as we have already mentioned) is, even in its primary form, connected with the contractile properties of the body. Now let us advance one step further in the complexity of the sensory organisation by providing the eye with capacity to distinguish the motion of the surrounding objects; then the orientation of the animal becomes possible, not only in space, but also *in time*.

Here again, the environment of the animal determines the development of its organisation. As long as the sensitivity is evenly distributed throughout the body, the possibility of motion in space is excluded, and life will last only while the animal is directly surrounded by the medium that supports its existence; the span of life is in this case necessarily very limited. On the contrary, with the development of the sensory time and space, the sphere of possible contacts is widened, the variety of the environment which acts upon the animal increases, and this necessarily multiplies the possible devices of its adaptation by means of which the organism adapts itself to this environment. It clearly follows from this that in the long chain of

animal evolution the complexity of the organisation and the complexity of the medium affecting the organisation, are interdependent factors.

This is to easy understand, if we regard life as the process, by means of which the vital needs of the organism are coordinated with the conditions of the environment: the greater the needs,—i. e. the higher the organisation,—the more claims are presented by the organism to the environment to satisfy these needs.

But is it possible that no other factors take part in this evolution of sensitivity? Is it possible that the origin of the senses of vision, hearing and smell is entirely due to the innate variability of the primary sensory form and the transforming influence of the environment? A number of facts make it probable (without, however, proving the matter finally), that the various forms of sensitivity differ more in quantity than in quality. On this ground, Spencer advances the hypothesis that there exists a general unit of sensation; he believes that all the complex forms of sensation are the products of various combinations of such units. This hypothesis enables us to derive the evolution of various senses from a common primary form in the same manner as the entire organism develops from the egg. However, we must admit that this particular point of his hypothesis seems at present to be extremely bold.

At any rate, it is clear that the evolution of the senses in the animal world corresponds to the gradual increase of the sphere of vital adaptations in time and space, especially to the development of a greater variety of combinations in space (coexistences) and of successions in time. The evolution of sight in the animal kingdom is a good example of this: in its simplest form, the eye can only distinguish light from darkness; in its developed form, it distinguishes the shape and details of objects, their colour, distance, motion, etc.

The next stage in the evolution of the senses may be defined as the coordination of the activity of the specialised organs of senses with each other and with the motor reactions of the body. While the preceding phase is a grouping of the units of sense and motion in various directions, the present one consists in the formation of still more varied combinations of these groups among themselves. An animal which is equipped with many different specific sensory instruments must necessarily receive a great variety of simultaneous and of successive sensory impressions; at the same time, the sensory sphere must, even in this stage of development, remain an integral instrument for the orientation of the whole animal in space and time, though it is, of course, a much more perfect instrument than the one possessed by lower animals. Consequently, the separate elements constituting a sensory group (or series) must be either coordinated, or disintegrated; for otherwise the various sensations would form a fortuitous and chaotic mixture.

At this stage of development, both processes take place simultaneously; coordination and disintegration are both achieved by the same means, i. e. by the innate variability of the sensory organisation (in animals possessing all the five higher senses, the organisation of the latter is undoubtedly developing) and by changes due to external factors.

There are so many various results of evolution at this stage of develop-

ment that it is impossible to follow them all; fortunately, we know two final forms of transformation:

The disintegrated and coordinated sensory sphere finally develops into instinct and intellect, and inasmuch as it is combined with the motor sphere,—into instinctive and intellectual acts.

If we analyse all those facts of animal life which are connected with sensation,—even the most elementary ones,—and if, on the other hand, we consider all those human actions in which the human intellect takes part, and try to penetrate into inner meaning of these phenomena, we shall see that sensation, always and everywhere, has only two general functions: it serves as an instrument for determining the surrounding conditions, and as a guide for performing actions which correspond to these conditions (i. e. adaptive or efficient actions). The fact that this applies both to the most elementary acts of sensation and the manifestations of instinct and intellect, is a proof that the last two forms are only different stages in the development of the sensory sphere in the course of its gradual disintegration and coordination.

According to Spencer, the difference between instinct and intellect is purely quantitative; the instinctive determination of surrounding conditions is less wide; the range of possible instinctive actions is therefore also limited. Moreover, the conditions in which instinctive actions take place are more monotonous, and the relationship between the sensory and the motor spheres is more machine-like. As a proof of the identical nature of intellect and instinct, Spencer points to the impossibility of defining the border-line between the two. Thus, we often see in animals, not only an inborn automatic capacity to perform certain actions, but also the capacity to adapt themselves to the situation of the moment or to the conditions of the place in a manner which can be explained only by the sagacity of the animal, i. e. by its power of reasoning, or, more generally, by its capacity to think. On the other hand the habitual actions of man may be automatic to such a degree that they are as machine-like as the instinctive actions of animals.

The last fact (i. e. the automatic character of those actions which are acquired by learning, when they have become habitual through frequent repetition) is, in the eyes of Spencer, a proof that the instincts of animals are not inborn but are gradually acquired by experience and by the accumulation, from generation to generation, of the resulting changes in the sensory sphere which are due to the influence of external factors. He accordingly defines *instinct as the organised experience of a race.* [1]

We might stop here. As soon as we have found that instinct and intellect develop from the sensory organisation in the same manner, (as regards the type of development and the factors which determine it) it becomes a logical necessity that the whole psychical life of man, being one of the results of the general process of evolution, should also develop from the sensory organisation of earlier stages. But the habit of seeing an abyss between the mental life of a man and animals is so strong that our thought unvoluntarily hesitates before accepting the existence of an evolutionary connection between them.

[1] By analogy with reason, it is even called «*Organized reason*».

Fortunately, we have a very strong argument that proves the case.

Let us turn from the psychical development of the individual man to the still higher sphere of human culture, created by ages of continuous development. Let us consider, for instance, the history of positive science in general, and of some of its branches in particular. No one will deny that this stage is higher than the infinitesimal cycle of development of the individual man. The progress of sciences consists generally in an almost unlimited increase of the number of sciences, from comparatively few primary roots, i. e. in a greater and greater disintegration of forms, each of which becomes more and more uniform with every new stage of development. This increase is nothing else than a differentiation of knowledge. The process is accompanied by the collection and organisation of isolated facts into more and more specialized groups (specialization of knowledge), and into groups with an increasing number of proporties in common. In the course of this differentiation of knowledge, facts which originally seemed to be disconnected are found to possess many common features.

In this respect the evolution of knowledge reminds us of the evolution of organs. But this similarity becomes still more striking when we consider the factors determining the development of the sciences. No one doubts nowadays that experience is the root of all positive knowledge; now what is experience, if not a result of contact with the external world, a result of external influences? We know, further, that the preciseness of every experience, both in life and science, increases with its repetition in varied conditions. Therefore, the development of experimental sciences depends entirely on the variability of external influences.

Consequently, in the mental evolution of human races,—this highest cycle of organic life,—we meet again the same general type and the same basic factors of development which characterize the stages of life. It is obvious that the cycle of individual mental development in man, cannot be an exception, since it is only an intermediate stage between the two.

Here again, evolution must:

1) *begin with the development of a comparatievely small number of undifferenciated primary forms (undoubtedly sensory products)*

2) *lead to a gradually increasing disintegration of these forms accompanied by a varied grouping of the products of this disintegration;*

3) *be determined by the interaction of the two factors of evolution: inherited organisation and external influences.*

Such is the essence of Herbert Spencer's hypothesis. It is extremely important not only because it is the first serious and systematic attempt to explain both the content and the progressive development of psychical life according to the general laws of organic evolution; but also because it actually puts an end to the discussion which has been going on for ages between sensualists and idealists, reconciling these two schools on the main point of their discord. Indeed, Spencer's hypothesis agrees with the theory of the sensualists in the sense that it also recognises that psychical processes are determined by external influences. But Spencer asserts that these influences act in every man, not on a chaotic organic basis as the extreme sensualists

assume, but on a soil which, through inheritance, has been cultivated for ages by the ever-increasing experience of the race, and has acquired, under the influence of this experience, a complicated organisation developing along preordained paths. In this respect, Spencer's hypothesis includes the fundamental belief of the idealists that the psychic organisation is inherited. But this is not all; I think that by reconciling the opinions of the two exterme schools on the mental life of man, Spencer's hypothesis puts an end to the existence of various schools in psychology, the more so as it is neither obliged to ascribe a spiritual character to the inherited organisation (as is done by the idealists), nor to materialize it (as is done by the materialists). It does not demand that the subjective side of sensation should be a direct product of the nervous organisation; it only insists upon the fact that the subjective state of sensation is always accompanied by definite nervous processes or (which is the same) by the activity of a definitely-organized nervous mechanism. Indeed, Spencer begins his work by proving this point; he does so by showing that the physiological conditions of development are the same for subjective sensations as for all nervous activities; he does not discuss the question of the connection between them, leaving its solution for the future.

In the particular case which we are discussing, i. e. the problem of the development of mental processes, Spencer's hypothesis can serve as a plan of work: it gives the primary material, and determines the general character of evolution and the factors that participate in it.

Consequently, my task is to reconcile the physiological data, on the strength of which Helmholtz has established the evolution of thought from sensation with Spencer's general program.

7. But before applying myself to this task, I must say a few words about a certain incompatibility which exists between the views of Spencer and the explanation of the development of visual conceptions from sensations which is given by Helmholtz in his famous «Handbuch der physiologischen Optik», 1867.

After having written his great work on vision, i. e. after having studied the whole physiological side of vision more completely than anyone before or after him, Helmholtz passes to the analysis of the views that existed before him on the development of visual *conceptions* from optical *sensations*; he divides these theories into two groups: the theories of the *nativists* who try to explain all the evolution of vision as a result of the innate organisation of the eye; and the *empirical* school which ascribes evolution chiefly to *personal* or *individual* experience, meaning by the word «experience» the exercise of the optic instrument controlled by the movements of the eyes and body, and forwarded by the cooperation of all other sense organs (mostly the sense of touch). He himself stands on the empirical side, and to explain the coordination of visual sensations applies the psychological law of the association of impressions (p. p. 798 and 804, «Optics»). Without entirely denying the participation of the sensory organisation in the transformation of impressions into conceptions, he ascribes to it only an auxiliary rôle (p. 800).

As long as this point of view is held by one of the greatest modern natu-

ralists, and concerns the very field where he has made such brilliant discoveries it is difficult to disagree with him, the more so as these conclusions were reached by Helmholtz after he had studied in a most careful manner the wide field of optical phenomena. Indeed, contradiction would be too bold an enterprise if the above-mentioned conclusions were based exclusively on the detailed study of visual acts,—for in this respect Helmholtz has no competitors. But the question is whether this detailed study makes it possible to determine with *absolute* assurance which of the visual conceptions of the adult are derived from the inborn organisation, and which—from personal experience. (N. B.: in the adult, all visual acts without exception have the character of conceptions). Unfortunately, we have no such assurance; we could have foretold this on the basis of Spencer's hypothesis; and in support of our opinion we can quote Helmholtz himself (page 438 of his «Optics»).

At the top of this page he says:

«*Nothing in our sensory perceptions which may be supressed or inversed by factors present in the experience itself* (i. e. by the skill which the eye acquires through exercise), *can be considered a sensation* (i. e. a product of innate organisation)»; a few lines further he adds that this criterion is not true in its reverse form, i. e. «*not everything which is not inversed by the factors of the experience is necessarily a product of innate organisation: it may also be the result of exercise*». Consequently, according to Helmholtz himself, a detailed study of optics has not given him an absolute criterion for distinguishing the *innate* from the *acquired*, or at least to distinguish the *innate* from the *extremely habitual* [1].

Indeed how could it be otherwise? An innate organisation which has never been exercised in contact with the external world is not a reality, but mere possibility (true, this possibility is definite, since it is due to a definite organisation). It might be called a form without contents. It is the same as, for instance, the case with the nerve—muscle mechanism of walking. Many animals have it ready at birth, but not man, for the child learns to walk little by little. But does it follow from that that the mechanism is undeveloped in man at birth? On one hand, everyone knows that to teach a child to walk and to teach an adult some complex movement (e. g. to play a musical instrument) is not the same thing, since the whole teaching of the child consists in keeping him erect while he moves his feet himself. On the other hand, it is now proved that the regularity, and even the possibility, of walking is closely connected with the sensations felt at the moment when the feet touch the ground. Therefore, the child has first of all to get accustomed to the complex of sensations *which are provided by his own experience* (walking on a firm surface); only after this he acquires the capacity of walking. Here we see, how *the inborn organisation of the mechanism of walking, being at first a definite possibility, becomes a reality under the influence of personal experience or exercise.*

I think that if Spencer's theory of the nervous and psychical evolu-

---

[1] I say «extremely habitual» because in the second of the above passages Helmholtz, when speaking of forms of vision which cannot be inversed by the factors of the experience, means the habitual, firmly established forms of vision.

tion had existed in its present complete form at the time when Helmholtz rightly protested against the extreme nativist assertion that the eye taken alone (i. e. separated from general locomotion and from the other senses) possesses at birth an almost fully developed capacity of space vision, he would have recognised, not only the *auxiliary*, but even the *decisive*, rôle of the inborn organisation in the Spencerian meaning of the term,—i. e. in the process of evolution of sensations into conceptions. I am led to this conclusion by the fact that Helmholtz, though he absolutely denies the rôle of intellect in the personal experience of the child (i. e. though he reduces this experience from the rank of conscious intellectual activity to that of an automatic process) considers his own theory, not as the final solution of the problem, but as a more appropriate point of view than the opposite and extreme opinions held by the nativists of his time. Consequently, the difference between Helmholtz and Spencer is not an essential one, and can be reconciled, if we assume that the psychical processes upon which Helmholtz bases his theory are expressions of «the innate organisation» spoken of by Spencer, i. e. if we enlarge our conception of innate organisation far beyond what the nativists call the sensory organisation. The possibility of this assumption is recognised by Helmholtz himself in the following words (p. 804): «Will man diese Vorgänge der Association und des natürlichen Flusses der Vorstellungen nicht zu den Seelenthätigkeiten rechnen, sondern sie der Nervensubstanz zuschreiben, so will ich um den Namen nicht streiten».

This abolishes the difference between the views of Helmholtz and Spencer, because it shows that experience is understood by Helmholtz as the result of the interaction of external influences and the innate organisation; consequently, both accept the same factors of mental development.

However, let me say once and for all that I shall apply the term «*innate neuro-psychical organisation*» not only to all known facts concerning the sense organs and their connections with each other and with the locomotor apparatus through the central nervous system, but also to everything that is known about the parallelism between psychical phenomena and nervous activities. According to this, we shall denote as the «*developing neuro-psychical organisation*» the sum of parallel changes produced in the mind and the nervous system by the encounters of the organism with its environment.

Chapter 2

A description of our methods of studying mental processes. Deductions.

1. We have now all the data necessary for giving a general sketch of the methods we intend to use in the study of mental processes.

The special subject of this paper is the mental development of the individual man; i. e. such a case of mental development where the newborn already possesses a sensory organisation formed into definite systems and organs, giving sensations under the action of external factors. Therefore, the sensations must be the starting point of our study of mental development.

If Spencer's hypothesis of the duality of the factors of evolution is true, then the neuro-psychical organisation of man can be influenced, during the

whole course of its evolution, only by external factors; under the action of these factors, the reactions (and thereby the structure) of this organisation must change, giving birth to thought in all its complexity, i. e. with all its various objects, with its progress from the concrete to the abstract, from the general to the special, from the sphere of sensory facts to that of extra-sensory contemplations, etc. Consequently, the possibility of the transformation of impression into thought (both in form and contents) must be present either in one of the above mentioned main factors of mental development of thought, or in their interaction. Further, if it is true that the process of mental evolution follows the laws of organic evolution, then the transformation of sensation into thought must be limited to a disintegration of homogeneous impressions into their elements and the re-combination of these elements into groups. In other words, either the neuro-psychical organisation, or the external influence, or, finally, the cooperation of both factors must contain the conditions that are necessary for the analysis and synthesis of whole or partial impressions. Above, we gave the definition of thought as the juxtaposition in a definite respect of at least two or more objects; therefore we can differentiate the three following general elements of thought: 1) the separateness of the objects, 2) their juxtaposition, and 3) the character of such juxtapositions. Moreover, it has been noticed that the objects may be extremely varied, while the ways in which they can be juxtaposed are limited, and can be reduced to a still smaller number of general categories.

It is clear that our first task must be the investigation of the general elements of thought (i. e. the elements mentioned in the above general formula) in connection with the properties of those factors of which it is the result. In other words, we must in the first place decide, by what properties of the neuro-psychical organisation, or by what external factors, it is possible to explain the «separateness of the objects», «their juxtaposition», and «the general character of such juxtapositions». Having thereby obtained a clue to the structure of thought in general, we can easily determine those properties of the mental process, owing to which thought is called reasonable, abstract, extra-sensory, etc., by studying the neuro-psychical organisation and the external influences upon it.

After that we must find,—also in the factors that are responsible for the tranfsormation of sensation into thought,—an explanation of the multiplication of objects. It is, a priori, easy to understand that these factors must be the same as those which determine the possibility of an analysis or synthesis of impressions, i. e. must also be present in the conditions of the neuro-psychical organisation or in the properties of the external influence, or in both together; easy, because we know that the whole variety of thought is a result of the evolution of its objects from primarily integral forms to discrete ones, obtained by disintegration and recombination.

2. By what properties of the organisation and by what external influences are the main elements of thought determined?

To answer this question let us examine in what way the impressions change under repeated external influences.

Let us imagine for a moment that the innate neuro-psychical organisation of the child which gives him chains of successive sensations, does not

change under the influence of the external world. Then the eye would react to the same stimulus for the 2-nd, 10-th, 1000-th and millionth time just as it reacted for the first. The same would happen with the ear and other organs of sense, and no development or progress of the sensory sphere would be possible. On the other hand, we know very well how important the repetition of impressions and other complex nervous acts is in our mental life. The more often an impression is repeated, the clearer and the more stable becomes the trace which it leaves in our mind. By «stability», we denote the capacity of an impression to last for a long time and by «clarity»—its capacity to become more definite with time. The same, as we know, is true of movements: the oftener they are repeated, the better they are remembered. There can be no doubt that the innate neuro-psychical organisation of the child must be capable of transformation under the influence of external factors. The trace left by the latter must, similarly to the trace of impressions, become more stable and definite in the course of repetition. It is not difficult to express this in terms of nervous organisation if we assume (as is done by physiologists) that sensation is accompanied by the transmission nervous excitation along a sum of definite innate routes.

The repeated impressions may seem to be identical; in reality, however, there is always some difference between them; consequently, there must be a change of the routes along which the excitation travels. But since even apparent resemblance is a proof of the prevalence of similarities over differences, it is easy to understand that a frequent repetition of so-called identical influences must lead to a differentiation of the sum of routes which corresponds to the unchanging elements of the impression. The impression must thereby gradually become purified of everything unstable and accidental. The same applies to the development of movements; all unnecessary additional movements which originally gave a character of clumsiness to the action gradually disappear.

But this is not all. With repetition, an impression becomes *more and more easily reproduced*; the corresponding nervous centres seem to become more sensitive to the stimuli that act upon them. And they really become more sensitive. All nervous mechanisms of the animal body may be considered as mechanisms which are constantly charged with energy and are always ready to discharge this energy under the influence of a stimulus applied to them. There exist two possible points for the application of the stimulus that causes the discharge in sensory mechanism: the periphery and the centre. The greater the charge of the nervous mechanism, the more easily it is set in action, and vice versa.

The conditions of charging are, as far as we know, directly connected with the nutrition of the nervous system; and the latter is in its turn closely related to the exercise and non-exercise of the nervous mechanisms. Therefore, the more active a nervous mechanism, the better its nutrition, and the greater its charge. This increase of the excitability of the nervous mechanisms produced by exercise is at the same time the cause of the «physiological isolation» of the routes followed by the excitation. The organisation of the mechanism may remain unchanged from a roughly anatomical point of view; nevertheless, it becomes physiologically isolated.

This is not the end of the transformation of the impression under the influence of repetition. Daily experience shows us that habitual impressions are characterized not only by the ease with which they are reproduced in our mind, but also by the fact that the corresponding complex of external influences becomes unnecessary for their reproduction. Very often a hint, or an indirect impression, is sufficient to call it forth. For example, if I am accustomed to see a certain person in different environments, I may remember him if I see one of these environments. If the impression is strongly habitual (i. e. has been repeated many times under various external conditions), it can be called forth by so many insignificant hints that we often do not even notice many of these hints. One would say that the repetition of an impression increases, in the sensory organisation, the number of points from which this impression can be evoked.

Naturally, this increase of the number of points from which a nervous act can be evoked must be accompanied by the development, in the organic trace of the act, of a gradually increasing number of auxiliary groups in addition to the main group.

We conclude that *the repetition of apparently identical (or, more exactly, closely similar) impressions must be accompanied in the neuro-psychical organisation by an isolation of the pathways followed by the excitation; at the same time, the impression develops from a general and undefined form to a more definite differentiated form, with the isolation of what may be called the main nucleus of the impression and its satellites, and with an increase of the number of external conditions which are capable of evoking the impression.*

The above deduction is given for the sake of simplicity for the special case when closely similar individual impressions are repeated under various external conditions of perception. Now let us consider some cases of the differentiation of more complex impressions.

Even in its first encounters with the external world the child is influenced, not by isolated external factors, but by groups of factors acting simultaneously or in succession. If these complexes of factors and the conditions for their perception by the organism were always the same, they would, by the laws of association, become impressed in memory as complex undifferenciated images. Whereas if the complex changes with every new encounter so that some of its members are left out, we must expect that those members of the complex which do not change will become isolated from the complex and the most stable of these members will, of course, become especially clear and definite. Consequently, the process is more or less the same in the case of a group of external objects as in the previously-mentioned case of a single object with secondary accessories. It is clear, however, that if the differentiation of complex groups proceeded only in this way, the process of differentiation would take much time. The elimination of this or that member of the complex would be a matter of chance. In reality, the process is much more rapid; the groups are differentiated every minute and in the most various directions. This is due to the following property of the neuro-psychical organisation.

3. We all know from observations that external sensory stimuli produce motor reactions in children even at a very early age. These reactions are

at first indefinite; but little by little they begin to form a definite system. We can first observe this process in the development of the capacity of the eyes to perform the coordinated movement of the eye-balls which permits the eyes to follow moving objects; then comes the capacity to sit, to move the feet and hands; still later comes the inclination to seize bright objects and put them into the mouth, etc. This power of objects and sounds to attract and to repel continues at a later age, and makes the child pass from one object to another. Briefly, during the first years of the existence of the child most of its sensory impressions are characterized by impetuosity or *impulsiveness*, as if their nervous mechanisms were more heavily charged than those of the adult, and the accumulated energy more easily discharged into the sphere of motion. I shall not describe here how these primarily unorganized and indefinite movements gradually become differentiated and coordinated into smaller and more definite groups. But I must point out the influence of movements upon the development of impressions.

1) Owing to the movements of the body, the location of the sensory mechanisms in space is changed, and this changes the conditions of perception, thus facilitating the differentiation of impressions. 2) Movements divide one continuous complex sensation into a number of separate sensory acts, having each a beginning and end of its own. 3) Finally, movements serve as an indirect link between sensations of different qualities (visual and auditory, visual and tactile, etc.).

The first influence of movements upon the development of sensations needs no explanation; but in order to understand the second one, we must take into consideration that the child is always surrounded by an environment in which there continuously take place various simultaneous or successive, episodical or periodical movements. Acting on the senses of the child simultaneously, they must produce a chaotic mixture of various impressions. But in this chaos of light, warmth, sounds, odours and contacts, there must be a flow of stronger sensations, corresponding to the more vivid changes in the environment. It is this flow that helps the child to emerge from this chaos of sensations; but the flow of strong sensations alone cannot perform this task, because it is not sufficiently definite, and its intervals are casual. It would be much more definite if the organism possessed some means of increasing it at the expense of other sensations, and if these means were set in action by the same factors which evoke it.

These means do exist in the neuro-psychical organisation; they may be called *the adaptive locomotor reactions of the body which help to increase the sensations*. Here belong the movements of the head, eyes and all the body in the direction of strong light, loud sound or strong smells and in general all those movements which place the sensory mechanism in the best conditions for perception. I shall not describe these adaptive mechanisms and the form their activity takes after the sensory mechanism has been placed in a position suitable for perception and the sensation has reached its maximum; the only important thing is that the locomotor reactions not only increase the flow of vivid sensations but that the character of this flow changes with every movement of the head or body, or, more generally, with every change in the position of the sensory mechanisms. It is easy to see, for example, that

our eyes can remain fixed on a definite group of objects only till there appears from another direction a new sensory impulse which is strong enough to evoke an adaptive reaction in this direction. In the course of this reaction the head changes its position, the eyes are transferred from the group of objects upon which they were fixed towards some new group; thus the former vivid impression is replaced by a new one, viz. by the impression which has led to the adaptive reaction.

This shows that only the most vivid sensations of the moment can be the successive members of the chain; and since it is not often that two equally vivid and differently directed impulses should act at the same time, it is clear that the movement which leads to the change of the conditions of perception is usually determined by one impression only. Each link of the chain becomes thereby individually uniform: a purely visual impression is followed by a purely auditory one, etc.

Such is the disintegration of a sensory group into separate links separated by intervals during which locomotor reactions take place. The picture given here of the development of the mind of the child is based on the physiological properties of the sensory mechanisms; it is practically the same for the mind of the adult. The only difference is that in the latter, the dominant flow will be composed, not of sensations, as in the child, but of various forms of differentiated perception, i. e. ideas and conceptions; this, however, makes no difference, since ideas and conceptions are, as we know, develop from sensations.

On this ground, I consider that we must reject the theory of the «unity of consciousness» with its anatomical and physiological substratum, the so-called «sensorium commune»; psychologists use this theory to explain the linear distribution of the acts of ours consciousness. We know there can be no absolute unity of consciousness; as for its relative unity (which does exist), it can be explained by the above-mentioned assumption, the more so as this assumption explains why the unity is only relative, while the former explanation rejects its relativity [1]. Moreover, from the point of view of the explanation mentioned above, it is easy to understand how the mind of the child becomes liberated from the primary chaos of sensations,—a fact which it is very difficult to explain if we accept the theory of the unity of consciousness.

One thing, at any rate, is beyond doubt: *the differentiation of the separate elements of a complex impression depends on the variability of the subjective and objective factors of perception, i. e. upon the changes that take place in the neuro-psychical organisation and the external factors.*

4. Now I shall discuss the capacity of the locomotor reactions to serve as a connective link between allied impressions. Imagine I am sitting at my desk, and the sand-box is placed within my reach, but so that I cannot see

[1] The hypothesis of the absolute «unity of consciousness» asserts that psychical acts are born in a channel of indefinite width; before becoming conscious they enter a more narrow channel along which they can travel only one by one; it is in this narrow channel that the psychical acts are supposed to become conscious (to use the expression of some physiologists, the psychical acts pass before our spiritual eye like pictures in a magic lantern).

it without moving my eyes or head in its direction. If I need sand in the process of writing, I shall have to think about the sand-box. Without looking in its direction, I stretch out my arm and get what I want. What does this mean? The image of the sand-box in my memory is an image, not only of the object itself, but also of its position in respect to my body. Such an image can have been formed only by the motion of my eyes or head and arms towards the sand-box. If, at the moment of remembering the sand-box, I moved my eyes in its direction, it would only be a repetition of numerous preceding cases of actual looking at it. But this movement is not even necessary: the position of the sand-box can be reproduced in my memory not only in the form of the motion by which it has been determined; it is enough that my memory should retain, in addition to the motion, some sensory sign capable of being reproduced in my consciousness simultaneously with the image of the sand-box.

These sensory signs accompanying motion constitute the so-called *muscular sense.* It is known that the muscular sense is composed of those indefinite, hazy impressions which are evoked by every movement of the eyes, head, body, hands, and feet, and which are differentiated into definite groups in the course of the coordination of movements.

Compare the formation of such sensory groups with our adaptive reactions, establish the connection that must exist between these groups and the central parts of the sensory sphere, and you will get a general idea of the muscular sense as a connective link between two allied impressions. The muscular sense is located in time at the turning-point of sensations, i. e. between two successive impressions; but being comparatively hazy, it can have no characteristic individual traits, nor can it cause noticeable intervals in the flow of more vivid impressions. Nevertheless it exists, and its presence is shown in the following peculiar manner.

It is believed that the capacity to form objective impressions is an innate property of some sensory mechanisms. When the light from some object falls on our eyes, it is not the changes that take place in our retina, that we feel (as might be supposed) but the external cause of the impression, i. e. the external object which is before us. The feeling of pain, on the contrary, is a sensation of purely subjective character. It is this exteriorisation of some of our impressions in the direction of their external sources that we call the capacity to objectivise impressions. It is very difficult to establish the primary form of these sensations; but there can be no doubt that their evolution is closely related to the disintegration and coordination of the muscular sense. This follows 1) from the fact that the capacity to form objective impressions belongs exclusively to those sensory mechanisms, which perceive distant stimuli. These mechanisms, being our means of orientation in time and space, are capable of motion, and are, consequently, provided with adaptive motor devices; 2) from the fact that the degree of objectivization is proportional to the degree of differentiation of the adaptive locomotor reactions. Thus, among all our sense organs, the eye possesses the most perfect motor system, and at the same time occupies the first place in the capacity to give a detailed localization of impressions in time and space.

The way in which these processes take place will be shown later in more

detail. At present we have said enough to understand the following concluding statement:

Muscular sensations take place at the turning-points of the sensory chain, i. e. in the intervals between two different sensations; they not only serve as connective links, but also determine, in the course of the formation of objective impressions, the mutual relations of their substrata in time and space.

Here ends my description of the properties of the innate neuro-psychical organisation. To proceed further in this theoretical direction (i. e. gradually to complicate the conditions of perception and analyse the results) would be most tedious and confusing, and therefore useless. It is better to omit a number of theoretical details of the primary mental development of the child, and, having given a general picture of it, to determine what aspects of the latter depend on the above-described properties of the developing neuro-psychical organisation, and whether the type and factors of its development satisfy Spencer's hypothesis. With this purpose, I shall speak of the evolution of human memory, i. e. of what is commonly understood as the capacity to remember and reproduce impressions.

Chapter 3

Experimental data on the registration and reproduction of impressions.

1. Memory is rightly considered to be the foundation-stone of psychical development, and everyone knows that the principal condition of its development is the repetition of impressions. Nevertheless, this is the haziest of all ideas in the field of psychical processes. In this respect, our inclination (a perfectly natural and useful inclination within due limits) to separate memory from the thing memorized, and to regard it as a separate capacity, is especially harmful.

This can be easily proved by the following simple argument.

If memory is really something separate from the thing memorized and constitutes the foundation-stone of mental development, then it must be very active during the first four years of the child's life; for a child of four years knows a lot of things: it thinks (and very soundly in many cases), it abstracts, it generalizes; in a word, it has studied almost the whole course of the school of objective thinking. Then why, in spite of this, does the mental life of early childhood completely disappear from the mind of the adult? Either the memory of a child is different from that of an adult, or it vanishes with the disappearance of the psychical products that fill the mind of the child. I am sure everyone will agree that the latter is more probable. Memory cannot be separated from the things memorized. The things memorized, like any other psychical products, undergo numerous modifications during life. They have a definite history of development, and owing to these modifications the contents of our memory can be totally changed. If man remembered his early childhood and all the phases of modification of the primary psychical products, there could be no doubts as to the course of his mental development, and the principles of psychology would have been firmly established ever so long ago.

It is clear, from what has been said, that the evolution of memory is the evolution of the things memorized and reproduced; and if we replace the

things memorized by the corresponding modifications of the nervous system, and the things reproduced by the process of nervous excitation, we can treat this vast field according to Spencer's general formula.

To analyse the process of memorizing, or the registration of impressions, let us find out, why the mental life of the child disappears so completely from the memory of the adult. When a child learns a fable by heart, he at first memorizes it with great omissions, distorted words and even distorted ideas. But little by little everything is put in due order, and he knows the fable by heart. Ask him now to recite it. The correct version will be easily and fluently delivered, and may even be remembered for the whole life; but the first imperfect version with its omissions and distortions is forgotten.

Perhaps the mind of the child during the first years of life is related to the mind of the adult in the same manner as the imperfect version of the fable is related to its correct version? This suggestion is partly wrong and partly right. It is right in the sense that the mental life of the child presents a great number of disconnected ideas, many blank spaces and even distortions, while the mental stock of the adult is systematised, and is often classed into large groups by means of a comparatively small number of main or leading ideas (e. g. scientific knowledge); it is wrong, because some of the mental activities of the child which are later forgotten are quite as habitual and regular as those of the adult. The child, as I have already said, learns a lot of facts of the objective world during the first four years of its life. It reasons very soundly in its own narrow sphere, and we know that sometimes it draws strictly logical conclusions, etc. And still, it forgets it all.

Maybe, the difference between the memorization of impressions and thoughts by the child and the adult is due to differences in the mental organisation of their memories, or maybe the difference lies in the manner in which thoughts and impressions are brought to mind?

Let us imagine for a moment that the mental stock of an adult is distributed in his memory like books in a well-arranged library, and that this distribution of elements is gradually improved with age. Then it becomes at once clear that it must be as difficult to get the necessary ideas from the memory of a child, as it is to find books in a badly-organised library. This analogy is extremely tempting.

Simple observation confirms that knowledge is distributed in the mental stock of the adult not in disorder, but according to a definite system, as books in a library. There are almost no unknown words for an educated person in his native language; consequently, he possesses many thousand words. On the other hand, if, for instance, I ask one of my readers to name immediately twenty substantives, most of them would fail to do so without help on my part, whereas with such a help, anyone can do it. Thus if I add that these nouns must designate the parts of a house, the words chimney-pot, roof, wall, window, etc. will appear in memory. The same will happen, if I ask for words of some other category,—victuals, articles of clothing, etc. This shows that many objects are registered in our memory as parts of a whole. This class may be very large; it may even include all entire objects with their particular traits. But this is not the only way of registration. By means of another very simple observation, it is easy to prove that in addition to

the class of appurtenance there exists also a class of similarity. If I ask you to name several round objects, the probable answers will be: the terrestrial globe, a billiard ball, an orange, etc. The category of green objects will probably include forest, meadow and various vegetables, while a dealer in paints will add a number of technical terms. I shall not describe all the classes according to which man registers in his memory all his thoughts and experience. I shall return to this later, after showing the means by which it is possible to determine all the potential directions of this registration at once. At present, I shall only point out that those directions are determined for each object by all its possible relations to other objects, including its relations to the person himself.

Thus, for instance, «wood» can be registered in memory as a part of a landscape (part of a whole), as an object related to bushes and grass (similarity), as fuel, as building material, etc.

In other words, the greater the number of relations of a given object, the more common points may be found between it and other objects, and the greater the number of classes in which it is registered, and vice versa. The analogy with the arrangement of a library is perfect: there also, books are registered, not in one, but in several catalogues and are arranged according to various principles, for instance, in the alphabetical order of authors, or according to the fields of knowledge to which they belong or to the date of their issue, etc. The greater the number of classes in which the books are registered, the better the library is organised, and *the easier it is to find the necessary volume.*

It is obvious that there is no such arrangement in the memory of the child: its personal experience is too short for the perception of those numerous common points of different objects which determine their registration in the mind of the adult. Even in the latter, the gaps would be big if personal experience were not supplemented by education, i. e. by the transmition to the individual of the historical experience of the whole race.

From this point of view it becomes evident that the possibilities of registration are much lower in the case of the comparatively disconnected, unsystematic impression of the child than in the case of the systematised experience of the adult. Still, the mental store of the child is also more or less organised, and it is obvious that the principles of this organisation are the same as in the mind of the adult, for it is also determined by the mutual relations and interdependencies of the objects perceived, and not by casual factors. This is sufficiently proved by the fact that at the age of 3—4, a child knows the properties of many objects, classifies many of them correctly and even explains the facts of every-day life in a manner which proves its capacity to understand causal relations. In other words, at the age of 3 or 4 a child can analyse objects, compare them, and even draw conclusions as to their mutual relations. Note that in the vast majority of cases the environment of the child remains unchanged till the child reaches an age when it acquires a clear memory of the past; nevertheless, the adult forgets completely, not only those impressions, the substrata of which have disappeared long ago (for instance, the impressions of the country where the child lived till the age of 4, or the memory of a relative who died when the child was less that 4

years old), but even impressions, the substrata of which have remained unchanged in a much later period. Why does this happen? One would expect that if an impression is correctly registered, and the register remains the same and is only enlarged during life, there is no cause for the disappearance of the impression. It is also difficult to understand how a child whose mother died when he was two years old and who had seen her during these two first years of his life every day, forgets her features afterwards completely, while an adult can remember for many years the features of a stranger with whom he has spoken only for an hour. Are these facts also due to the imperfection of the memory of the child?

The cause lies in the following peculiarity of the process of memorizing similar impressions. If man memorized every impressions separately, he would accumulate such an immense number of impressions of the habitual objects of his environment (such as faces, chairs, trees, houses, etc.) that it would be absolutely impossible to think of them, at least in the form of words. How is it possible to find hundreds of thousands of different names,— a special one for every individual tree, face, chair, etc., which a man sees, and how is it possible to cope with such an enormous mass of material? Fortunately there is no need to do so. All closely similar impressions are registered, not separately, but in a general class, where they retain some of their peculiarities. Thousands of similar impressions are thus combined in the memory of a man; this makes it possible to register in our memory in terms of hundreds the millions of things which we see, hear and experience[1]. Consequently, all individual impressions from the usual objects and phenomena of our everyday environment become fused, losing thereby their individuality, especially when their resemblance to each other is great (e. g. the fusion of linden and oak into tree), or when the perception was superficial. The impressions of early childhood must obviously be very superficial and therefore have many chances of being fused. There are, however, cases (though rare ones) when some event or impression is accompanied by factors that strongly affect the child's mind. Such an impression is a sort of appendix to the fused image, and may be remembered for the whole life. The memory of the adult must be richer in such special appendices to similar impressions, owing to the greater disintegration of the latter. The recollections of the adult are therefore more detailed than those of the child. We Europeans are not accustomed to see the faces of Negroes or Chinese, therefore they seem alike to us; whereas in a European face we note, not only the general type, but also the details and peculiarities of every face, i. e. its deviations from the general type. It is easy to understand that under these

[1] Now that physiologists know how to measure the rate of the elementary psychological processes, we can prove arithmetically that these calculations are not exaggerated. If, according to the data of the famous physiologist Donders, we assume that the time for the recognition of habitual objects (tree, chair, etc.) is about $^1/_{15}$ sec. (according to Donders it is even shorter), and that the 10 waking hours of the day of a child are completely filled with the perception of habitual objects, these 10 hours are sufficient for more than half a million perceptions. If the number of objects is 100, each of them will have been recognised 5000 times. If we suppose that between every two perceptions there is an interval of 1 sec., 15 days will be required for a repetition of the same impression 5000 times, and a million repetitions will take 100 months, i. e. less than 10 years.

conditions all kind of peculiarities, even when the contact with the object of perception is short, must be more easily fixed in memory than the detailed image of the child's mother, which becomes almost entirely absorbed by subsequent general impressions in the memory of the child.

Consequently, the disappearance of the impressions of the early childhood from the memory of the adult is due to the imperfect organisation of the mental apparatus of the child: though built on the same principles as that of adult, it presents many gaps, and its elements are insufficiently differentiated.

If an example from everyday life can help us to understand the matter, I would compare the mental past of early childhood to a series of pictures where we see colours, images, and even a detailed treatment of some features (mostly casual ones, not connected with the main idea), but where general or particular topics, giving a unity of idea, are absent. This absence of connecting ideas is caused, not so much by the defects or mistakes in the grouping of the figures and images (this grouping may even be quite correct), as by their unfinished (undifferentiated) character, i. e. by a lack of content in them.

2. Now I shall try, on the strength of what was said in the preceding chapter, to connect all we know about the development of memory with the development of the general properties of the neuro-psychical organisation of man.

The following consideration justifies my method of discussing the evolution of the contents of memory, instead of wasting time on purely theoretical speculation. The contents of the memory which is gradually accumulated in man constitutes all his mental wealth. Preserved in some strange latent form, it serves as the mental store out of which we draw elements according to the necessity of the moment. Not a single idea can occur in the head of a man, which is not composed of the elements registered in his memory. Even the so-called «new» ideas, that form the basis of scientific discoveries are no exception [1]. This means that by studying the evolution of the content of memory, we observe the development of the whole mental content of man.

On the other hand, everybody knows that the memorizing of impressions is as closely connected with their repetition as every effect is connected with its cause. The more often we see an object, the more chances we have to observe it from all sides, the more complete and differentiated becomes its image (conception).

Therefore if we consider the mental content of a man from the point of view of the content of his memory, it becomes especially clear that *its development is based on the repetition of impressions, under the greatest possible variety of subjective and objective conditions of perception.*

So I hope the reader will admit, at least for the first years of the life of the child, the possibility of mental development owing to the repetition of the action of varying external factors on the varying neuro-psychical orga-

[1] The only exception is the sight of an object for the first time, without ever having heard a word about it; but then, such an act is not a thought but an impression.

nisation. In other words, he will admit that the facts are in accordance with Spencer's hypothesis. The result of such a development is especially clear in the sphere of sensation. Little by little, more or less definite elements begin to appear from the chaos of images, sounds and motions that form the environment of the child. The more stable elements of the picture, are strongly fixed; the more variable ones are not fixed at all. The picture, as a group, becomes disintegrated into its real (and not casual) elements, and in this form it is registered in our memory. Later on, each element of the original complex group undergoes the same process. This leads to the isolation of the more or less stable elements; the general result is a further disintegration of the whole into parts.

The locomotor reactions which take place at the turning-points of sensation take a most active part in the differentiation of sensory groups at all stages of their development. Being accompanied by sensations, they do not disturb the sensory unity of the group; at the same time, they contribute to the precision of each element of the group, because the muscular sense is distinct from the sensations between which it is located. In its undifferentiated state, the muscular sense forms the connecting links between the elements of the group, and gives it a unity; in its developed state, these connections serve as indicators of relations in time and space. It is evident that in each sensory group, the links of muscular perception are memorized in the same way as the visual, auditory and other perceptions; the development of every group in memory is therefore closely connected with the development of spacial and other relations between its elements. This forms the basis of the classification of objects as parts of a whole.

In addition to the memorizing of impressions in the form of constant groups, they must also be memorized on the principle of their similarity. Among the impressions that surround the child, absolute constancy is met only as an exception. Now, if a group of impressions is not constant, this means that its consecutive repetitions are not identical but merely similar. In other words, the so-called repetition of uniform impressions is in reality a sequence of similar impressions. In this sense, there takes place an isolation of the common nucleus with its satellites, i. e. registration according to similarity.

3. From the point of view of the changes in the neuro-psychical organisation, this can be expressed in the following way.

There can be no doubt that in its original innate form, the organisation presents a definite system of routes along which the excitation can travel, with an innate subdivision into sections and connections between them; in other words, the route from any sensitive point of the body to the brain, as well as all branches of this route, are predetermined at birth. But in this general complex of routes there can be no predetermined grouping corresponding to the grouping of the external factors, because the latter vary to a great extent from man to man, and even from one excitation to another. As long as the mechanism is quiescent, all its sections are under equal conditions of feeding and equally charged with energy. But as soon a definite section of the nervous system is excited, this equality disappears for a long time. The active routes become more excitable than the others, and this dif-

ference increases with the repetition of the excitation in the same form. I have already mentioned the physiological isolation of the routes into groups with different excitability. I shall only mention here that for every constant group of external factors there must be a similar group of routes, and that the changes in both must be parallel. This parallelism can be convincingly proved for the eye and ear, and it is determined by the structure of the optical and acoustic receptive surfaces.

In other words, definite groups of external influences must leave definite groups of traces in the organisation, and the correspondence between them must be the same as between these external influences and the sensory acts evoked hy them, for the latter can take place only through the conduction of the excitation along corresponding routes.

It is clear, therefore, that the memorizing of impressions must correspond to the formation of definite traces of the excitation in the nervous organisation. The number and variety of combinations of these traces increase with the repetition of the varying external influences. In its original form, the innate organisation is capable of an indefinitely various grouping of the routes of excitation. But this possibility becomes a reality only under the influence of actual excitations. Acting in groups, these excitations isolate from the general mass separate groups of routes possessing an equal excitability; this leads to the differentiation, or grouping, of the organisation.

4. I shall not give many examples illustrating the process of reproduction of impressions and the relations between the actual sensations and their reproductions, because this question belongs to one of the best known sides of physiological psychology, at least in the aspect that interests us.

Do the actual and the reproduced sensation correspond to each other in their contents?

Here we must consider in the first place the possibility of their identity. This is proved by our capacity to learn verses and musical tunes, and to imitate various sounds. The same is true of the reproduction of those sensations which are connected with some emotional element and are therefore followed by the same locomotor reactions both in their actual realisation and in their reproduction. We know, for instance, that the face of an honest man will redden even in the absence of witnesses at the thought of an indecent action committed by him in the past; that nausea can be evoked at the thought of something repulsive, or salivation in a hungry person at the thought of a tasty morsel; here belongs also the case described by me in the «Reflexes of the brain», of «goose-skin» at the thought of cold, etc. These examples are also important because they show that the actual and the reproduced sensations are equivalent as processes: both lead to similar motor reactions.

But though we have to recognise the possibility of an identity of the actual and the reproduced sensations, we must not forget that the examples given above are exceptional. Some of them are the result of the frequent repetition of an impression in the same form; other are extremely elementary sensations with their motor results. This question is nearly the same as whether the actual sight of a pin and the reproduction of its image in our mind are

alike. The question which interests us is more general, and includes all the conditions for the origin of the actual and reproduced sensations.

Fortunately, certain experiments give a definite answer to this question, even though it is put in such a wide form.

There almost never is any photographic likeness between sensation and its subsequent reproduction. This likeness is still less, if the links forming the impression, or the manner of their combination, are new to the person. Those elements of the impression which are actually new cannot even be reproduced (for instance, some abstract thought heard by an uneducated person, or the picture of a new complicated machine seen by a layman); insufficiently known elements are feebly reproduced. Photographic likeness becomes possible only when the elements have been often repeated and do not depend any more on changes in the conditions of perception. If two persons of different age and character, or of different education, have witnessed one and the same event, their accounts of this event will never coincide. Beyond the bare facts,—which are rendered in more or less the same manner,—the stories usually differ to a great extent in their tone, details, and even in the interpretation of the facts. That is why it is usually said that in addition to the abstract reproduction of facts, the speaker introduces into his account many subjective elements depending on his character, general outlook, degree of development, etc. Moreover, this introduction of subjective elements is done in such an inevitable manner that if we built up a story and then tell it to several persons whose characters we know, we can tell in advance, how each of them will consider the story; we can guess beforehand who will laugh and who will weep, who will think it evil and who will find it innocent.

Everything we see and hear contains elements which we have already seen or heard. Similar elements from the store of our memory are thereby added to the impression of every new object we see or hear. These elements are added not separately, but in the same combinations in which they are registered in our memory. An event of secondary importance in our story may be added to a similar event in the memory of one of the listeners, but with a sad sequel; in the memory of another one there is nothing that corresponds to our event, and then it produces the impression of something quite new. A third listener has often seen such things, and our story does not affect him at all.

The same is true of the reproduction of scientific facts which have been read in a book or heard at a lecture. The conditions of perception may seem different in this case, for we can reproduce, in the field of science, only what we have understood; the exactitude of reproduction is not important in that case, the main thing is to reproduce the idea. But if we consider for a moment the nature of the process of understanding thoughts, we see that after all the key to this understanding is always our personal experience in the widest sense of the word. Even the most abstract thought is, after all, the reflection of an existing or, at least, a possible fact, and in this sense it is a more or less generalized experience (whether this experience is right or wrong is quite another question). Therefore, a thought may be acquired or understood only by such a person, in whose experience it can be included as

a link, either in the same form (then it is an old, familiar thought) or in some near stage of generalization.

Consequently, actual and reproduced sensations are very seldom alike in their content, because the reproduction includes not only the purely objective side of the impression, but also the varying mental ground upon which it falls. In the actual sensation, there prevails the group of external stimuli with its vivid sensations; while in the reproduction there prevails the organisation of the trace left by this group in the mind. This organisation can be modified, and admits of a regrouping of elements; therefore *the content of the reproduced impression is determined by the organisation of its trace in memory at the moment of reproduction.*

5. We apply this conclusion to two forms of sensation: the first one is reproduced under the action of a number of actual influences, and the second—without them. But in the first case, the external factors also act, not on a *tabula rasa*, but on the same, or almost the same, organised ground which determines the reproduction. Is it possible that this ground does not influence the acts of seeing and hearing? And if it does, how does it influence them?

These questions can also be answered by experiment.

When an impression acts upon us, not for the first, but for the fifth or tenth time, there almost instantly appears in our mind an indefinite sensation which we usually call the «recognition» of the object. It is, a priori, clear that this indefinite sensation must be the reproduction of the old impression together with the new one. There are positive facts which support this view.

If there is an ink-smudge on my face, and a friend of mine sees me in this state, he will be conscious of something unusual in my appearance before any thought has occured in his mind. Why? Simply because with the first glance at my face, the old image,—without the smudge,—arises beside the new one. Only this can explain why he notices the abnormality immediately.

The strong action of novelty proves the point still better For instance, we have in our memories a definite average standard for the size of human noses. Now, if we meet a man with a nose of an abnormal size the impression is very strong: but if we see the owner of this nose often, the impression becomes weaker. This can be explained by the fact that at the first meeting the actual impression could be compared only to the average standard, while later it is compared to the former impressions produced by the same nose. Originally, the big object was compared to a smaller one; now we are comparing two equal ones.

This explains the distorted impression of the stature of a man and woman when they exchange clothes: the man seems taller, the woman shorter. A low-pitched woman's voice produces the impression of a bass, while in reality even her lower tones belong to the tenor. The vast field of contrasts that expresses the dependence of sensation, not only on the strength of the impulse, but also on the properties of preceding impressions, also belongs here. Smallness seems smaller after magnitude, weakness may not even be felt after strength.

The essence of juxtaposition and comparison is thereby made clear. Even animals are capable of this *sensory prototype of comparison;* it is a direct act of the consciousness, accomplished without any reasoning. Leaving the description of the mechanism of this process to a later chapter, let us now consider the conditions for the reproduction of impressions. Daily experience shows us that we can remember familiar things at the slightest hint, provided this hint enters directly or indirectly into the composition of the impression that is being reproduced. The best example is the rapid silent reading of a book without the pronunciation of words. The rate of this reading depends upon whether we recognise words by their halves or quarters, and is proved by the fact that we can easily read a manuscript written with half-words. This includes the reproduction of verses and songs learnt by heart by a few lines or bars. In some cases, the hint belongs directly to the memorized event; in others, it is some insignificant fact that accompanied the memorized event,—an accessory of the main impression. Every nook in the old house where our childhood was spent is full of the pictures of the past. Here the hint is indirect, but the phenomenon remains the same. Events and people are registered in our memory together with the environment; the whole forms a group, or association, which is as integral, as, for instance, a poem learnt by heart. The examples given above show that a hint at any of the elements of such a group is sufficient to evoke the reproduction of the whole group. Finally, there are cases when the reproduction seems to be spontaneous, without any external stimulus. Such is the reproduction of habitual impressions, i. e. impressions which have been frequently repeated under various external conditions, and which are, therefore, registered with numerous auxiliary accessories, some of which can even pass unnoticed. We are so accustomed to these small influences acting upon us the whole day round that we even do not pay attention to them. Nevertheless, they are inevitable elements of the impression. Still more obscure to our mind are the elements of muscular sense, the satellites of impressions, which accompany almost every motor reaction of our body. Finally, every impression is associated with the obscure systemic sensations of the moment. Suppose that one of these obscure elements is excited,—and it becomes clear how an association can be reproduced in response to a stimulus when this stimulus itself remains unnoticed.

We see, therefore, that the arguments in favour of the above theory are very numerous; so are the advantages resulting from its acceptance. From this point of view, the reproduction of impressions (as sums of separate sensations) is simply reduced to the fact that external stimuli excite, first, not all elements of the sensation, as in the actual impression, but only one or two of them,—sometimes even auxiliary ones.

When the excited element is one of the distinct members of the sensory group or chain, the process may be qualified as a reproduction by appurtenance of the element to the group or chain, or by similarity of the element and the corresponding elements of the group or chain. Therefore, each impression is reproduced in the same main directions in which it has been registered by memory, according to similarity or contiguity in space or time.

The second, and still more important, result of this theory is that it

simplifies to a great extent the whole external side of the psychical activity, reducing the external factors of its origin to grouped and isolated external influences.

Chapter 4

External influence as complex movements. The grouping of their centres of action in space and time. The correlation between the grouping of external influences and sensations, determined by the structure of the instruments of perception. The eye as an instrument for the perception of relations in space and time. General summary.

1. Most of the preceding chapters are devoted to the general description of the first step of evolution, or the differentiation of uniform impressions. Closely following Spencer's hypothesis, I have tried to deduce the whole process from the interaction of two variable factors,—the environment and the substratum on which it acts, i. e. from the repetition of external influences on the neuro-psychical organisation, and the motor and sensory reactions of this organisation to these influences. An the same time, I have particularly stressed the main properties of the nervous organisation, which determine the possibility of disintegrating uniform sensations and recombining the products of this disintegration into groups or chains. The general rôle of the nervous organisation is sufficiently clear to permit me to define some of the main elements of thought. The reader will remember that these elements are: the differentiation of objects, their juxtaposition, and the general character of such juxtaposition. This definition cannot be given for all the elements till we have completely elucitated the rôle of the second main factor,—external influence.

I have already considered this point,—but only in a very general way. In order to explain the differentiation of impressions from uniform primary sensations, I had to consider the external factors as «variable sums», or chains, assuming at the same time that a definite group of phenomena always corresponds to a definite group of sensations. But I did not go any further. The formula of the «variable sum» was sufficient to give a general explanation of the process of isolation and combination of impressions, and showed at the same time the importance of external factors in this process. But this formula is much too general, and does not show the direction in which these modification may proceed. Therefore we must define it more precisely.

The reader is justified in enquiring whether I intend to treat the external influences such as they are, irrespective of the sensations produced by them in us, or to study the combinations of impressions and draw conclusions about the external factors. The first would be to enter the sphere of metaphysics; the second, at least apparently, would be to recognise that in our study of the evolution of impressions we cannot take the external factors into consideration because we know their properties only through the medium of our sensations.

It is my duty to answer this question, for it concerns the application of Spencer's theory to the study of psychical phenomena.

I shall begin by pointing out that even among professional philosophers it is at present hardly possible to find any one who does not believe in the objective reality of the outside world and in its influence upon our sen-

ses. This necessarily leads to the conclusion that external influences are an indispensable factors in sensation. Of course, we cannot imagine these factors apart from our sensations of them; but on the other hand we positively know, that when the external factors are modified in some respect, the sensation changes according to their modification. The whole physical and physiological theory of light and sound,—these two principal forms of sensation,—proves this correlation. Each of these two branches of knowledge may be considered as consisting of two halves,—one including all the variable forms of sensations, and the other one all the variable objective conditions of vision and hearing. The ever-growing number of correlations discovered by the physicists has permitted them to separate these two halves and to express the external processes in terms of their mechanical movements and impulses in contact with the sensory mechanisms of our body. This has made it possible not only to treat sensations and their outside physical causes separately, but even to foretell the modifications which must take place in our sensations with every change of the external factors expressed in terms of motion. This is a considerable step forward, if we remember, that these theories began with the study of concrete sensations, and have succeeded in isolating a certain number of comparatively simple (i. e. easily and definitely separable) mechanic relations, as the external factors which determine the various aspects of sensation. In general, the task of the study of complex phenomena is to disintegrate them into more simple factors or relations; as soon as we succeeded in doing so, the more simple relations become the explanation of the complex ones in spite of the fact that they originate from the latter.

After this explanation I may explain directly that by independent factors in the evolution of sensations I shall denote the same thing as the physicist, i. e. various forms of movement, ascribing to them only those properties which are ascribed to light and sound waves, or to movement in general, and assuming that though for man these properties are subjectively the products of his differentiated sensory experience, still there is something positive and real behind them. Let us then see if we can find, in the properties of the external factors considered as motion, a criterion for the grouping of influences in a more differentiated form than the «variable sum»?

2. With this purpose, let us imagine that the organism is surrounded by waves of sound and light or (which is more simple) by motionless foci of light and sound scattered throughout space. Let us suppose there are altogether 3 sound-producing bodies, the nearest of which lies at a distance of half a mile and the furthest at the distance of one mile. If we mentally divide the time of the action of the external factors upon the organism into small periods with empty intervals between them and suppose that the organism does not move during the whole action, it is easy to see that only the light waves will have an equal chance to reach the organism during the first period from all points in the space, owing to the extremely rapid motion of light. During the same period, no sound will reach the organism even from the nearest point. Consequently, during the first period we shall obtain only one practically simultaneous group of light influences from the foci of light scattered around. In the next period, the action of the light waves will re-

main the same, i. e. it will still be a simultaneous group; but now this group is increased by the addition of the sound coming from the nearest focus of sound. In the next periods, the sounds from the second and the third points are added. With the fourth period, the group changes no more, i. e. we have a simultaneous action of the sum of sound and light factors. Let us now omit the empty spaces between the separate periods of the process; then we obtain the following picture; the light factors remain as a group of simultaneous actions, coming from various points in the space; whereas the sounds form a varying successive chain. Since this difference is due to the unequal velocity of sound and light, our conclusion will remain correct when we compare light to any other motion slower than sound. If the period or intensity of the waves of sound and light that issue from the separate foci change, and we again divide the period of their action on the organism into small sections, the only change in respect of the sound will be a greater diversity of the successive sounds; while the action of light will remain simultaneous as before, though the composition of this group will vary from one moment to another. On the whole we shall have a succession of varying groups.

The action will be of the same character if the foci are changing their position in space. If we divide the time of their action into small periods, the influence will be the same as if it proceeded from several successively appearing foci located along the line of the motion.

Therefore, of all factors only light can act on the organism in a simultaneous group, no matter how scattered the foci are in space, and how short their action. The probability of simultaneity is lower for sounds, and still lower for movements slower than sound. Under these conditions, the main feature of a group of light waves must be the immobility of the foci and their differentiation in space, while a chain of light waves is characterized by the successive changes of its links in time.

Consequently, external factors act on our senses in two principal forms [1]: as a group differentiated in space and as a chain differentiated in time. Repetition can modify the group and chain only in quantity:

The group,—in the space it occupies, the number of foci of various actions (their intensity and the other attributes of their motions) and in the position of the foci.	The chain,—in its time of action, the number of foci of various actions (their intensity and the other attributes of their motion), and in the sequence of their actions.

The variety of modifications that come under this short formula is enormous. If we consider the external factors *as simultaneous or successive* combinations of various motions, the main question will lie, not in their variability (the latter being obviously large) but in the structure of the perceptive sensory mechanisms by means of which man finds his way in the chaos of external factors that act on his senses both in groups and in chains.

3. To speak in detail of how the three principal sense organs,—sight, touch and hearing,—become adapted to the perception of such a complex

[1] The reader is asked not to forget that one form corresponds, for instance, to a light group, the other one—to a chain of varying sounds.

environment would be to include in our article almost all the anatomy and physiology of the sense organs; such a description would, indeed, be much longer than the present paper on mental processes. Therefore I shall restrict myself to a few general remarks, and will refer the reader for all details to the textbooks of physiology.

If it is true that we perceive impressions in the form of simultaneous groups or subsequent chains, the eye must, in accordance with the properties of light, be better suited for the perception of simultaneous groups than any other sense organs. We shall presently see that this is really the case.

The width and depth of our sphere of vision is much larger than the spheres of hearing, and smell, and still larger than the spheres of touch and taste, which act only at short distance. This is due, on one hand, to the physical properties of the eye as an optical instrument, and on the other to the great sensitivity of the retina to light.

This sensitivity enables us to see objects at a distance of several kilometers. The action of light is discrete, because we are conscious of it as issuing from different foci isolated in space. The sensation of light is also discrete, because the receptive surface of the eye (the retina) reproduces objects with an almost photographic likeness. Moreover, the retina is constructed in such way that each point of it, when it is affected by the action of a ray of light, perceives this ray separately. The photographic likeness between the external object and its image in the eye is, as we know, due to the refraction of light in the eye which takes place exactly in the same way as in the lenses of optical instruments; and the capacity of every point of the retina to perceive separately is due to the fact that every point of the retina is connected by means of a separate nervous pathway with the nervous centres. This means that we feel exactly as many points of the retina as are covered by the given optical image. It is important to note that when our eyes are repeatedly fixed on the same object, every point of the image reproduced on the retina will fall upon the same point of the retina, so that to one and the same group of external stimuli there corresponds, within the organism, always one and the same group of nervous pathways.

The light issuing from the different foci of the light-group differs in intensity or in the length of its waves (foci of unequal action). Owing to this, all the points of the retina are capable of feeling light of various intensity and distinguishing colours [1].

Finally, the optic group is characterized by the topographic connection of its various foci with each other. In our sensations, this is expressed by the capacity to distinguish the position, size, etc. of the objects, in an optical picture. This capacity is due to the activity of the adaptive motor reactions of the eye during the act of vision. Our knowledge of the position, size and shape of objects is the product of our differentiated muscular sense.

But this is not all. The different parts of the retina are not equally ca-

[1] The capacity to perceive different light intensities is explained by the fact that the reaction of the nervous substance increases with the intensity of the stimulus. The capacity to distinguish colours has not yet been sufficiently explained. Therefore I omit this point, the more so as the exposition of existing hypotheses would require much time and space.

pable of distinguishing forms. Near the centre of the retina, opposite the pupil, there is the so-called «macula lutea»,—a part of the retina which possesses the most exact vision of forms. Here, the separate points of perception are much smaller in size and more closely situated to each other. Therefore, those parts of the optical image which fall on the macula lutea will be perceived in more points than the rest of the image. This may be compared to a picture, one part of which is being better lighted than the rest. It is obvious that this device must help the eye to isolate separate parts of the entire picture, i. e. to differentiate a whole into its parts. Such is the structure of the eye as an instrument for the perception of simultaneous optical groups. The sensory mechanism of our hands is organised in the same way, but it is, of course, specially adapted to direct contact with various objects.

The task of the organ of hearing is not so much to determine the spacial relations between the foci of sound as to differentiate the succession of stimuli in time, and to distinguish the preceding and the subsequent ones from each other. The best example of this kind is our perception of speech and music, where the character of the chain is determined by the properties of the sounds that form it, their duration in time, the intervals between them etc., and has no relation to the topography of the sounds [1].

Although the subjective properties of the sound have not yet been deduced from the physiology of the ear, still a great deal has been done in this direction by the brilliant investigations of Helmholtz. We can now assert with sufficient assurance that in the perception of the so-called musical tones (sound waves with regular periods) and of the vowels of the human speech, the main rôle is played by the resonating system of the cochlea,—a kind of musical instrument with thousands of cords of various tone. Each cord of this instrument is supposed to respond only to one tone of a strictly definite pitch and to be connected with a separate nervous centre. Owing to this, simultaneous or successive sound groups must excite strictly definite centres. According to modern physics, the whole qualitative side of the separate musical sounds and of vowels consists of simple tones of various pitch, while physiology reduces them to various channels of excitement. The length and degree of excitation correspond to the duration and intensity of the sound. In this respect hearing is similar to the muscular sense. Only these two forms possess a direct feeling of time, as can be seen from our capacity to perceive sounds and muscular movements as something continuous in time, as well as from our habit to measure time by short intervals between sounds or periodical contractions of the muscles.

4. The last important item in the problem of the adaptation of the organs of senses to the perception of external factors in the form of groups and chains is the *visible* motion of external objects.

We know that every movement includes two elements: time and space. Therefore it is evident that the eye, being the sensory instrument for the perception of visible motion, must be able to distinguish both time and space. This is achieved in a most perfect manner by the coordination of the visual

---

[1] Animals with mobile ears probably distinguish the topography of the sounds much better than man, who practically cannot move his ears.

functions of the eye and a whole system of movements of the eye with the movement of the external objects. Even as an instrument for the differentiated perception of motionless foci of light, the eye is to a certain extent capable of determining the direction and the speed of motion of objects. This is seen from the fact that when a luminous point moves in the darkness before our immobile eye, we feel both the direction of the motion and its speed. But the information thus gained is far from complete. Now imagine, on the contrary, that the structure of the eye enables man, without changing his place, to run beside the moving object with the same speed,—and you will get what is actually achieved by the motor system of the eye. We actually follow the moving objects with our eyes. We personally take part in the movement of the moving object (this is not a metaphore, but an actual fact), and this enables us to perceive motion much more completely.

But this is not the principal point. The most important fact is that the external motion is transformed into motion inside the organism itself; this second motion is expressed in our sensory sphere by definite signs, viz. the muscular sense. Owing to this, the only phenomenon of nature the expression of which in our sensations is very close to the actual external process, is the so-called pure motion; this is why it is so simple, and why, in the analysis of the complex processes of nature, the reduction of a phenomenon to pure motion is the extreme limit of simplification.

In conclusion, I shall try to give a better example of the functions of the eye, in order to illustrate its rôle as an instrument for the analysis of relations in space and time. Let us imagine for a moment a man who during all his life has seen the surrounding world through a kind of magic tube, which permits him to see only one object at once. Under these conditions, his processes of perception and of registration in memory would consist of separate acts, connected only through the occasional shifting of the tube from one object to another. The whole objective visual world would be reproduced in his mind in the form of disconnected images, without those connective links that we call the interrelations and interdependencies of objects, links that alone give life and sense to the perceived external world. The world in the mind of such a person would contain a sufficient variety of forms, but the perception of connections between objects would be impossible till the shiftings of the tube were regulated by some definite law. He could acquire some skill in this respect; for instance, the tube might be used as the radius of a horizontal circle, with the eye in its centre, moving along the circumference of the circle in small, equal and always registered arcs, and after each horizontal motion the tube could be moved up or down at definite angles. This work would be very tiresome, but some knowledge of the position of motionless objects would be acquired; and this *by means of a system of movements devised by the man himself.*

If this magic tube possessed, in addition to these horizontal and vertical movements, a device for the determination of the distance between the eye and the objects, this would give a knowledge of depth, and the eye would actually distinguish the spacial relations of objects. Still, the eye would not be fit for the analysis of groups in space, or for the differentiation of motion, because groups would remain for ever invisible. Indeed, if our field of vi-

sion were always occupied only by the object we are directly looking at, the movement of the latter in space would quickly take it out of the sphere of vision, the more so as every motion of the object in a direction between the vertical and the horizontal, would oblige the eye to make very short and successive horizontal and vertical movements so as not to lose sight of the object.

Now imagine a man who, on the contrary, always sees large groups of objects, and possesses in addition a magic tube which allows him to see parts of the group more distinctly; suppose, further, that his eyes distinguish the distance between the objects, and, finally, that in the shiftings of the tube there is a definite regularity, though this regularity is *established not by the man himself but by the characteristic properties of the motionless or moving elements of the group.* This will be a normal man, with the macula lutea of the retina as an equivalent of the magic tube, the muscular sense as the instrument for recording the intensity, direction and speed of the motions and an external field where these motions take place.

Even if the form in which the groups and chains exist outside us with their relations in space and time, is different from that in which they are perceived by us, still this form is invariable when the corresponding sensation is invariable, and changes when the sensation produced by it changes. A landscape, under a definite light and seen from the same spot, is a constant group; a definite tree, seen under the same conditions, is also a constant, though a smaller, group; a small insect, in its turn, is also a group, etc. Everything in general that can be differentiated optically constitutes a *visual* or *optical* group. The same landscape, tree, or insect under varying conditions of light and seen from different spots are changing but similar groups.

Every noticeable modification in the state of surrounding objects gives a chain. A storm is a chain; it is constant inasmuch as it includes, in order of succession, clouds covering the sky, the roar of the wind, thunderbolts and rain; it is variable because the intensity and duration of the phenomena in various storms is different. A barking dog, a flying fly, a meteor, a twittering bird—all these are chains.

We see, therefore, that the simultaneous and successive groups of movements in the outside world are reflected in our sensations by groups and chains, by co-existence and succession. In the case of co-existence, the links are connected with each other exclusively by relations in space; in the case of succession,—time enters into the composition of the chain, as its necessary element. If a given cluster of motions is repeated in an unchanging form, it is registered and reproduced in memory as a constant group or chain (a face we remember, or a fable we know by heart). If repetition is combined with frequent modifications of the group (as occurs in the majority of cases) those of the elements which do not change or change less than the others, are registered better than the rest, and are easily remembered without the changing elements, i. e. the group is reproduced in a shortened form. Owing to this, the group gradually becomes divided. The invariable character of this disintegration is due to the strict coordination between the groups of external movements and the pathways of excitation; a definite group of pathways must correspond to a definite group or chain of external factors. We have

already shown that this is really so in the organisation of the optical and acoustic mechanisms.

Therefore, we have the right to conclude that *a definite sensory group always corresponds to a definite simultaneous group of external factors; and a definite sensory chain always corresponds to a definite succession of external factors.*

We know that all our impressions, at least those obtained through the higher sense organs are objectivised, i. e. exteriorised in the direction of their external source. It is easy to see, therefore, that the whole inner state of our sensations is projected into the outside world and adapted to the contents, of this world, i. e. to the outside objects and phenomena.

I shall use this opportunity to formulate the grouping of the external factors and the corresponding sensations in the following way.

As far as these groups of external factors are constant, any external object or phenomena (i. e. objectivised sensation) *is fixed in memory and reproduced in our mind only as a member of a special group, a chain, or both. As far as these groups vary, any outside object or prenomenon is fixed in memory and reproduced in our mind as a similar member of variable groups and chains.*

Or still shorter:

Any outside object or phenomenon is fixed in memory or reproduced in mind in three principal manners, as the member of a group in space, as the member of a group in time (a chain), and as the member of a group by similarity. (in the sense of our systems of classification).

This determines the three main directions in which objects are juxtaposed and which I mentioned in the first chapter (§ 4), as well as the main classes of registration of impressions, mentioned in the third chapter (§ 1).

In conclusion, it will be useful to give the following simple example.

The window of a house, as an immobile object, is a member of a spatial group. The windows of a church, palace or hut are similar members of other groups. A window opened with a bang by the wind during a storm is a casual member (not a necessary one) of the storm-chain.

5. Now that we are in possession of all data concerning the general elements of thought, I can pass to the reconstruction of the most primitive forms of thought in animals and children. But before doing so, it is advisable to refresh the reader's memory by summing up in a few words all that has been said.

The external factors, acting upon us in succession or in simultaneous groups, are directly reflected in our sensations by chains and groups, or by what, in its undifferentiated form, is called «complex emotions».

The nervous process follows definite pathways of excitation, leaving its trace in our neuro-psychical organisation, and leading thereby to the fixation of the sensory chain or group in our memory.

One of the main properties of the trace is the increase of the excitability of these pathways as a result of the repetition of the process of excitation; owing to this increase of excitability, the corresponding pathways can be excited by weaker stimuli, and finally can be evoked under conditions absolutely unlike the original ones. All such cases are called acts of memory (or

reproduction of the impressions of things seen, heard, or experienced in any way).

Originally uniform impressions gradually become differentiated; the main causes of this differentiation are: the modifications of the sums of external factors (in the course of their repetition), and the capacity of the neuro-psychical organisation to fix the frequently repeated elements more firmly. Since the similar elements of a group or chain are more frequently repeated than the changing ones, the former are better fixed than the latter. This leads to differentiation within the group or chain, i. e. to the abstraction of its constant elements, accompanied by their registration by similarity.

The external factors acting upon the organism evoke, in addition to the specific sensations (light, sound, touch, smell, etc.), motor reactions which in their turn lead to sensations (the muscular sense). The sensory group and chain become thereby differentiated; the elements of the muscular sense are inserted between those of the group or chain, isolating them from each other and at the same time serving as connecting links between them. Later, when the motor reactions of the body and the impressions following them become more definite (the law of the development of definite groups or systems in the motor sphere, just as in the sensory sphere) these elements of the muscular sense placed in the intervals between the members of the group or chain determine the relations between the members of the group or chain in space and time [1].

We can therefore think of the interrelations of objects only in three forms: their similarity, their spatial or topographic relations, and their succession in time.

When differentiation has taken place within a group or chain and the relations between its elements have become clear, this group or chain not only does not lose the capacity of appearing in our mind as a whole, but on the contrary, appears very easily, on the slightest hint reminding of one of its elements. Therefore, there are two possible courses of complex sensations in our mind: from the group to its separate element, and from the separate element to the group. In the field of vision, an example of the first process would be the vision of the whole group or picture at the first moment, followed by the detailed observation of that part of it to which the attention is drawn; an example of the second process is the reproduction of the whole picture on a hint reminding of one of its elements.

Chapter 5

Concrete thinking. Definition and recognition of external objects. Definition of parts, characteristics and states. Abstraction of parts, traits, and states from the object as a whole.

1. The lower forms of the differentiated complex (i. e. grouped) sensation,—viz. the *definition* and *recognition* of external objects,—are the property not only of the child but also of animals capable of motion. Whate-

[1] This does not mean that the relations between objects are merely an expression of our neuro-psychical organisation. Contrarily to the opinion of idealists, the interre-

ver the purpose of the movement of an animal, it must at every step be conscious of the topography of the place in order to adapt its locomotion to it; sometimes this adaptation has to take place while running, when a detailed observation of the environment is physically impossible. Therefore even in this simple case the animal must possess the capacity of defining the properties of the environment from the slightest hints, and of estimating the conditions which it presents for motion; in other words, the animal must possess knowledge obtained by personal experience. The process of definition is still more complicated when the animal is pursuing its prey. Here, it must adapt its movements not only to the environment, but also to the movements of the prey; it must define, not only spatial relations, but also relations in time. The choosing of food, the distinction of friend and foe, the capacity to find the way home, are all proofs of the capacity of the animal not only to distinguish objects in the sense of their isolation from the group, but also to recognise in them old friends.

We shall not dwell on the subject of how the child and the animal learn to distinguish various objects. The matter evidently lies in the differentiation of complex groups and chains. But what is the recognition of objects?

If, for the sake of simplicity, we take a case of visual recognition, it is the quick (sometimes immediate) thought at the first glance at the object, that we have seen it before. This colloquial definition is quite correct. Recognition is merely the reproduction of an already experienced impression, under the influence of the same stimulus that acted before, followed by the comparison of the new sensation with the old one. If for instance the sight of a familiar tree has left a definite image in our mind, our eyes begin (so to say, involuntarily) to look for the specific features of that tree, and as soon as they are found we feel at once that this is the very tree we know and no other. This search which our eyes perform is the reproduction of the movements performed by them when we saw the tree for the first time, and form the essence of the process of comparison, or juxtaposition of the old and new image. Therefore the comparison of images is performed by the reproduction of the motor reactions of the eye, without any special agent for the comparison of impressions. Neither can we discover any special agent in the final act of the process, which can be defined as the establishment of the similarity of successive sensations; this similarity is created immediately, so that we have no time for reasoning, i. e. drawing conclusions. Nevertheless, the process of recognition includes the following three elements, 1) differentiation of two sensory acts, 2) their juxtaposition and 3) the character of this juxtaposition (according to similarity). These three elements are the fundamental elements of the thought. Consequently, *recognition of objects, being the simplest of all psychical acts, has all the essential characteristics of any mental act*, (i. e. both the content and the series of processes that characterize mental acts).

---

lations of objects are primarily given outside us, and they assume the sensory form of our neuro-psychical organisation in the same way as the waves of light and sound assume for us the aspect of visual and auditory phenomena.

We shall see presently that it even possesses the germ of reason. In the sphere of object-thinking, separate thoughts express nothing beyond the perception of the relations and interdependencies of its objects; this perception may be more or less true or false, but there is no trace of reason in it. Reason appears in thoughts when they become the guides of our actions, i. e. when our actions are based on the relations perceived. Then the actions acquire aim and meaning, and become reasonable or purposeful; the recognition of objects evidently serves as a guide for reasoned actions. Without its help the animal would not be able to distinguish a piece of wood from its food, it would take trees for enemies, and in general would not be able to find its way among the surrounding objects. This shows that the acts of recognition are as reasonable as any other thought that guides our practical actions.

The process of recognition resembles an intellectual act; therefore we may even say that recognition includes the germs of intellect.

2. The second act of sensory development must be a direct result of the differentiation of complex groups and chains into separate links; it must consist in the comparison of groups taken as a whole, with their separate links, as parts or traits. This property really exists in children, as can be seen from their capacity to draw entire landscapes at a very early age,— but it is not so noticeable as the analysis (differentiation again!) of separate objects isolated from the group; we must therefore consider the recognition of parts and properties, or traits and states of various objects, as the second stage of sensory evolution. We reach this conclusion for the following reasons. In a large group of objects, a landscape for instance, there are always many characteristic features in the whole combination, but only very few of these traits can be ascribed to separate objects. A landscape is too large and variable a group to speak, for instance, of its form and colour. Moreover, large groups act on us only at a distance; therefore some of the factors (for instance odours, tastes, tactile stimuli and to some extent sounds) do not reach the observer. At close proximity, on the contrary, we can get acquainted with the individual properties of the objects, see them entirely or in part, smell and touch them, in a word we are able to use all our senses. Owing to this, the analysis of groups is a purely visual differentiation of the picture, while in an isolated object we learn little by little to distinguish its form, colour, taste, consistency, surface, etc. We also must not forget that the restlessness of the child brings it into constant contact with the external world in close proximity. Therefore sensations obtained at a short distance must overrule sensations from afar.

3. What means has the child for the differentiation of the parts, properties or traits of the isolated object?

The differentiation of parts in isolated objects is mostly the task of the eye. Touch often assists the eye, but in normal (i. e. not blind) people it lacks the speed, volume and exactitude of visual analysis. Therefore, touch plays a decisive rôle only in exceptional cases (the touch of the normal person has its own sphere of action, such as for instance, the definition of the solidity, elasticity and surface of objects, etc.). I shall therefore speak here only of the visual differentiation of parts, beginning with the following assertion: *the optic disintegration of isolated objects into their parts is,—both*

by its contents and by the nature of the process,—equivalent to the differentiation of the parts of a group. The difference lies only in the conditions of vision. A group is differentiated from afar, an isolated object—in close proximity.

When we look at a distant landscape, the field of our vision is filled with such large groups as whole towns, lakes, mountain ranges; the parts of the picture are large objects, such as a house or a tree (of course, without details). When, on the contrary, we are approaching a house or a tree, their image grows bigger till finally the whole field of our vision is occupied by a single object, and we observe its details. Further approach limits our sphere of vision to a part of the house or tree and now we are observing only the details of the whole object, Now, I have already spoken of the macula lutea of the retina, as the point of clearest vision. This structure facilitates the abstraction of some parts from the whole image (be it a landscape or a separate object) with greater clearness than the rest. But while in a landscape it helps to isolate large objects within a group, in close proximity it isolates separate points in one object. The process of analysis is absolutely the same in both cases. The only difference is that in vision at a distance the images of cities, forests and lakes are formed on the retina in a diminished size, while in close proximity the whole retina is occupied by the image of a tree. Consequently, as long as the external object or its part (no matter how small this part may be) is optically heterogeneous (within the limits of the analytical power of the eye) this object or part of an object is equivalent to a group, differing from a landscape only in that it is seen in close proximity, and not from afar.

In both cases, the optical axes of the eyes, (i. e. the straight lines leading from the centre of the macula lutea to the point under observation) move from one outstanding point of the picture to another. In both cases, the visual act is interrupted by motor reactions, which serve to define the spatial relations between the points of the picture.

On the whole, from the point of view of the disintegration of impressions, *the second stage of sensory evolution is related to the first stage as vision at a short distance is related to vision from afar.*

In other words, *the sensory disintegration of the objects of vision is based on the general factors of psychical evolution already known to us, i. e. the innate neuro-psychical organisation and the repeated action of external stimuli in the form of definite (though variable) groups.*

In addition to the optic disintegration of objects and the definition of topographic relations between them, the eye perceives their outlines, general form, colour, position with respect to the observer, distance, volume and motion. All these sensory acts are necessary members of the acts of differentiated vision and constitute the sum of the visual characteristics entering into the composition of the impression left by every object. What is the nature of these signs, and how does their differentiation take place?

The reader will find an answer to this question in any manual of physiology. I must content myself with a few general remarks.

The outlines of an object, as the border-line that divides it from the surrounding medium, belongs to the most noticeable features of every visual

image; when the eyes are looking at an object, they move from one point to another, and also follow the outline. Therefore, in all those cases when the object has a definite form, the movement of the optic axes along the outline will leave a definite trace in the sphere of muscular sense.

If the object we are looking at is on our right we must turn our eyes and head in that direction. Definitely directed muscular reactions repeated thousands of times in our life are thus added to the optic sensations. Finally they become, for the intellect, a sign of the direction in which the object is seen.

Owing to the frequent repetition of a definite correlation between the distance of the object from the observer, and the contraction of the muscles that converge the optical axes of the eyes, the muscular sense becomes also an indicator of the distance between the object and the observer. The size of the object is partly determined in the same way as its distance, and partly by the angle of vision, which is also measured by muscular movements.

The volume of the object is determined by a certain disparity of the images on the retina of the right and left eye, and possibly by means of very small movements of the optic axes.

The motion of objects is defined, both in direction and speed, by the corresponding movements of the optic axes (we follow the moving object with our eyes).

Finally, the vision of colours is equivalent to the vision of light in general, because there is no light without colour.

This sum of motor reactions, with the variable, but definite, muscular sensations accompanying it, constitutes the so-called capacity to look—an art which the child learns long before walking. Constantly repeated throughout our life, this complex of motions gradually becomes coordinated into forms which are as regular and habitual as the act of walking, or the skilled movements of our hands, and which are as easily reproduced. The muscular sense is exercised together with the movements which evoke it. In its turn, it becomes coordinated, forming a regular system of signs which become, in conjunction with the effects of the retinal excitation, the means for the visual determination of spatial relations.

This means that the sum of optical properties of a given object leads to the formation of an association between a definite complex of retinal excitations and various, but quite definite, forms of the muscular sense. In other words, a definite optical effect becomes associated with a definite succession of activities of various muscular groups; I say «various muscular groups» because the fixation of the optical axes on a definite point, and their movements are performed by several muscular groups. It follows from this that *the differentiation of the optical signs of an object is based on the differentiation of the physiological reactions that take part in the process of perception.*

The perception of the outline of an object, its colour, size, distance, direction, volume, and motion is a coordinated sensory group (more correctly, a chain, as not all the reactions occur simultaneously), in the same sense as the phases of walking, or words said aloud, are coordinated groups of elements of motion.

4. These laws of the disintegration of objects into their traits and the

recombination of the latter into coordinated groups are still better expressed in those cases, where the sensory chain is composed of the activities of various organs of senses.

We feel, for example, an orange as a round body of orange colour, with a peculiar smell and taste. In this complex impression, the outline of the object and its colour are provided by the eye, the round form mostly by the hand with its muscular system, but partly also by the eye, and the last two qualities—by the organs of smell and taste. The combination of these sensory signs may have taken place in parts, at various meetings with the object, but it may also have occurred at once. The eye sees the orange, the arm is stretched out, and the hand seizes and raises it; a few more movements,—and the impressions of taste and smell appear. By means of repetition, this chain is registered in memory; the separate motor reactions lose their distinctness, but the muscular sensations evoked by them do not disappear, because the size and shape of the object, and even its position with respect to the observer, remain fixed in memory.

The number of such groups is immense; optico-tactile associations are especially numerous, because all objects in the world—except, perhaps, the air, are visible and tangible, without necessarily being audible and odorous, or having a taste. It is also clear that the sensory image of an object is determined by the combination of all the properties or features of that objects which are accessible to any of our senses.

We could further follow the dependence of the properties of objects from the differentiation of the physiological processes of perception by comparing the anatomo-physiological properties of our organs of perception with our everyday knowledge of objects. I shall, however, abstain from this because the matter is sufficiently clear as it is [1]. I accordingly draw the following conclusion:

All those properties or features of objects which are accessible to the senses, are the products of the physiological process of perception; the number of these properties or features is strictly determined by the number of perceptions.

For the eye, we know seven reactions, and seven categories of properties (colour, shape, size, distance, direction, volume and motion). For touch, the number of reactions connected with the muscular sense of the arm and the whole body is at least nine, and the corresponding properties are: temperature, shape, size, distance, direction, mass, consistency, weight and motion. For the ear, the number of the principal reactions and properties does not exceed three (time, height and tone). Finally, in smell and taste, the forms of reactions are uniform. Therefore, the greatest number of sen-

[1] In this respect, the juxtaposition of the physiological properties and the sensory products of the higher and lower organs of sense is very instructive. For instance, the comparison of sight and smell, or hearing and taste. The organisation of the human organs of smell and taste is very primitive as compared to those of sight, touch and hearing; therefore our impressions of taste and smell are very weakly differentiated. This is seen from the fact that for the definition of odours we usually apply the names of objects with a strong scent (violet, jasmine, lavender) and distinguish only the intensity and the pleasantness or unpleasantness of the impression, while in auditory impressions we feel, in addition to these points, its duration, characteristic, pitch, and an endless number of modifications of the basic properties when the sounds act in chains.

sory traits of an object cannot exceed 21. But we must not forget that within these 21 classes, an unlimited number of individual variations is possible.

5. Not only children, but also animals, are capable of defining the qualities and properties of objects, for there can be no doubt that animals can recognise objects by their separate traits. This property is practically even more important for the animals, as they live in conditions of constant warfare with surrounding enemies, and their immediate orientation in their environment on the slightest indication is for them a vital necessity.

It is also evident that the differentiation of traits is in many cases achieved by the personal experience of the animal, i. e. by its repeated contact with the object. A dog will not jump out of a window from the third floor, will not touch the fire with its nose and will not be frightened by its own reflection in a looking-glass, if it knows by personal experience the meaning of jumping and the properties of the fire and the looking-glass. On the other hand, there is no doubt that in many other cases animals seem to possess the knowledge of the properties of objects at the birth, as if they inherited it from their parents.

Formerly, all these facts only puzzled the observers and created a profound abyss between the psychical organisation of man and animals. At present we can to some extent understand the reasons for this difference. Since we know that the acts of sensory perception in man have a tendency to coordinate into groups, like acts of locomotion or like the habitual movements of our hands, we must not be surprised that the sensory group may be inborn to the same degree as locomotion. Moreover, in the discussion of these questions we must take into consideration that the period of psychical development of animals is much shorter than that of the human being and, a dog learns in a few days what a child takes several months to acquire.

One thing is certain: the definition of the properties of objects is already a thinking-process (object-thinking, as proved by Helmholtz). A child sees (i. e. perceives) the form of objects, their size, and distance, probably as clearly as an adult, and is capable of using differentiated sensations in its movements: it turns its head when you call it, seizes objects with its hands, determines their distance correctly; however, such actions are not the products of reasoning, but merely the habitual results of differentiated sensation, though we may take them for the result of reasoning. Owing to this likeness, Helmholtz calls the acts of spatial vision of the child «unconscious conclusions» (unbewusste Schlüsse); it is quite true that in the experience of the child there is sufficient material for drawing conclusions (see lower); but it would be wrong to think that the actions of children and animals come from reasoning in the form of sillogisms.

Let us imagine for instance, the following picture. A dog sits facing a house. The house is on the left side, on the right we see a forest, then a clearing, and beyond the clearing—the forest again. A hare appears in the clearing and the dog rushes towards it. Seeing this, we might, of course, think usat the psychological process taking place in the mind of the dog can be approximately expressed in the following words: «In front of me, I see a hothe, a forest and a clearing with a hare. The hare is on my right side, *ergo*—

I must run straight to the right and be quick, because the hare is running very fast». In reality, the process is much more simple. It requires a fraction of a second to learn that the hare is on the right, and if the impression is sufficiently impulsive it immediately produces a motor reaction. Il the dog is hungry, the motion will be still quicker,—not owing to the addition of a new-sillogism about the hare as a tasty morsel, but hecause of an increase of the impulse produced by the impression. The whole matter is simply the rapid recognition of the object with all its specific and spatial peculiarities, and the habitual adaptation of the movements of the body.

I repeat again that at this stage of development, the differentiated sensation, as a means of orientation in time and space and as a guide for adequate actions, bears all the external features of thought, but is in reality only the stage of differentiated sensory chains, coordinated with each other and with the motor reactions into definite groups. This stage of mental development may be called the stage of «*automatic sensory thinking*» which is probably the limit of the mental development of most wild animals, while in man it passes directly into the stage of the so-called «*concrete object-thinking*».

6. From the recognition of objects by their separate traits acquired in the preceding stage, the child passes directly to actual thinking in terms of ob ects and their traits or properties. This begins with a kind of separation of the object from the trait, which makes it possible for the child mentally to juxtapose their relations. When a child says consciously «the horse is running», «the tree is green», «the stone is hard», etc-—this is a proof that it distinguishes the object and ist characteristics and juxtaposes them.

How is this done?

In the past, this problem,—(the abstraction of traits from the object),—played an important part in the theoretical views on our mental life, and even served as the foundation stone of whole philosophical systems. This process has now lost its mysteriousness, and can be classified as one of the most elementary forms of psychical activity.

In order to understand this we must return to what has been said about the differentiation of the optic traits of objects. The reader remembers that the development of this capacity is connected with the development; by means of exercise, of the muscilar sensations which accompany every motor reaction performed by the eyes while looking at objects. Bot nothing has as yet been said about the elementary forms of spatial vision in which the exercised eye isolates outline, size, distance etc. These elementary forms must exist, for otherwise these would be nothing to isolate.

External objects give the same images in the retina of the newborn and the adult. In both, the image in the eye is formed by the stimulation of many separate points of the retina. Consequently, the form of objects including their outlines,must be perceived by the child in the same or almost the same manner as by the adult. But the child is at first unable to converge his optical axes on one point and then to move them along the outline, or from one outstanding point of the object to another.

Therefore there is at first no difference in the perception of the *upper* and *lower* part of the object, its *right* and *left* side. When the art of loo-

king has been acquired, it provides the child with a great number of available forms of ocular motion, that have been acquired in connection with the locus of excitation of the retina. Every minute, the eyes pass from the lower parts of the object to the upper ones, or,—which is the same,—from the upper parts of the image on the retina to the lower (for the image on the retina is reversed); owing to this, the retina ceases to be a passive mirror of the surrounding objects. It does not remain indifferent whether the locus of excitation lies in the upper, lower right or left side of the eye: under the guidance of the developed muscular sense, an independent sense of location is gradually acquired by the retina; on this account, the excitation of the lower part of the retina is immediately located in the upper part of the field of vision, that of the right part of the retina—in the left part of the field of vision, and so on. Finally, the retina of the exercised eyes becomes capable of seeing immediately, without moving the eyes the outlines of objects, their size and position in the field of vision and, in a less perfect manner, their distance and volume [1].

Owing to this, a child whose retinas are exercised in the task of defining the location of optical impressions, can see each object successively in two different forms: at the first moment, it feels the outstanding traits of the image and thereby recognises the object; then its optic axes fall on some particular part of the object, and it sees this part better than the rest. The first two acts are familiar to us: they are the reproduction of a coordinated group at the hint of one or several of its elements. We know that this process is very rapid, so that its two parts are felt simultaneously, and of course as an entire object, though perhaps only the outline is distinct. (It is not without reason, that children and uncultured people represent objects by means of outlines only.) After that, one part of the object, (brightly coloured, or of a peculiar shape) stands out more vividly in the mind; in other words, there takes place the mental juxtaposition of the entire object with one of its parts. In this general form, the act of vision is repeated by the child many thousand times, becomes registered in its memory, and is reproduced in its mind at the slightest hint.

It follows from this that *the differentiation of the physiological reactions of perception is the basis of the mental abstraction of the parts and traits of objects. The first (general) effect of the outside impulse corresponds to the whole object; the subsequent (detailed) visual reaction corresponds to the trait of the object.*

7. Another and more general condition for the abstraction of traits from objects is the modification of the external conditions accompanying the repetition of one and the same impression, and the modification of the subjective conditions of perception. One and the same object may change its colour and form when seen under different conditions of illumination, or from various points. Sometimes it seems cold, and sometimes warm; it looks small in the distance, and grows as we approach it. Still more varied are, of course, the impressions produced by several similar objects. This leads, as we

---

[1] This explains the capacity of the eye to recognise objects when they are illuminated for an extremely brief moment by an electric spark (see cpt. III).

know, to the isolation of the more stable traits of the sensory group which corresponds to the object from the less stable ones. The more stable traits are better registered in memory, form a more compact group, and are more easily reproduced than the other elements of the group. Any of the variable traits may serve as a hint for the reproduction of the whole group of stable traits. Under these conditions, *the reproduced group, being the most constant part in the sensation and the object, becomes the equivalent of the entire object, and the sensory hint which evokes its reproduction, becomes a trait of the object.*

The reader will see that the whole matter is reduced to what we have many times said concerning the disintegration of the large groups of objects into separate objects and of separate objects into traits. And this actually is the beginning of the abstraction of the parts of groups, independently whether we mean a large group of entire objects, or a single object as a group of traits. The act of abstraction depends on the possibility of juxtaposing the group and its part. In this respect there is a certain difference between large groups of objects and separate objects. The first are combinations that vary greatly in content and have few chances to be memorized in the form of groups; therefore the repetition of the impression leads mostly to their disintegration into separate objects. The latter are more stable groups and are, therefore, memorized and reproduced both as entire units and as parts. (I have already pointed out that thinking in groups of objects in comparatively difficult for the child). Consequently, *though the general conditions for the differentiation of the traits of objects are the same as those for the differentiation of the separate objects composing large groups (viz. the modifications of the objective and subjective conditions of perception), their products of differentiation differ: large groups being extremely variable combinations only their elements are in general registered, and it is only as an exception that they are registered as entire groups; while in the case of more narrow and stable groups, both the elements and the entire group are registered.*

In this case, reproduction takes place both of the whole group and of its elements; this is real object-thinking, where the external object and its trait are the object of the thought.

In this category of mental processes the *diversity of objects* corresponds to *a diversity of the physiological reactions of their perception* and to the *diversity of their traces in the nervous organisation.* Their *juxtaposition* corresponds to the *succession of nervous excitation* and the *connective links*, (determining the character of the juxtaposition)—to a *partial similarity* between the successive reactions of perception and their traces in memory.

Only this partial similarity between the first general reaction (corresponding to the *object*) and the differentiated reaction (corresponding to the *trait*) can explain our feeling of their close relationship as well as the fact that in all languages, the object and its trait are spoken of as one thing, although the object is a sum, and the trait—one of its items.

It is also easy to understand, from what has been said above, the reason of our tendency to replace in speech an object by one of its traits; this tendency is undoubtedly due to the practical advantage of rapidly recognising and designating objects by their traits.

8. I shall not analyse those cases of concrete object-thinking in which the

object of thought is, not one object and its trait, but two or more. This would lead us to a mere repetition to what has already been said. For when the experienced eye of a child moves from one object to another, a number of grouped sensory products is juxtaposed in his mind in exactly the same manner as formerly one object was juxtaposed with its trait, with the only difference that now the juxtaposition becomes possible in more varied directions: in the case of one object, only juxtaposition by similarity was possible; in the case of two or more, it can take place not only by similarity but also in time and space. Each pair of objects is thus associated in the mind by definite relations and registered in memory together with these relations and can under favourable conditions be reproduced in the form of an object-thought. If the successive relations of perceptions are similar or dissimilar, the connective link between the objects of thought will be their similarity or dissimilarity; if the motor reactions of the observer take part in the substitution of one object for another (and they always do) the objects are connected by relations in time or space.

Briefly, here again *the thought is nothing else than the reproduction of a sensory group consisting at least of three separate reactions of perception. The two extreme ones correspond to the objects of thought, and the intermediate one is the link that connects them.*

The possibility of applying this general formula is very wide: we can mentally juxtapose any two objects of the external world, no matter how different. We can compare an atom and the sun, a human being and a speck of dust, a town and a piece of wood, etc. and the only condition is that the things we compare should appear in our mind in succession. If they do appear, there must inevitably exist some sort of relation between them, because the organs and processes of perception are the same in all people. Finally, our formula may be applied to the so-called chains of thoughts, because these chains are formed by the linking of successive pairs of thoughts when the observer is passing along a row of successive objects.

These chains can in their turn be registered in memory as a whole; when they are reproduced in the form of words we have a description of places, scenes and facts.

9. Here I shall stop to say a few words about the stage of concrete object-thinking, or thinking in actual external objects and their traits.

This stage of development is very brief (the cause of this will be given later); during this stage, the thoughts of a child are almost identical with actual impressions, being related to the impression as a reproduction in memory is related to what has been actually seen and heard. All the content of the thought at this stage is limited by what the child perceives with the help of its experienced sight, hearing, touch and taste. The thought, so to say, glides on the sensory surface of objects and phenomena, grasping only those facts which are directly accessible to the senses; it can be reproduced only photographically, and that, only from its purely external side. The essential interrelations of phenomena and those subtle relations of the objects used by the adult in every day life which give a definite significance to its phenomena, are not accessible to it. The personal experience of the child during the first years of its life is limited to perhaps a few hundred contacts,

where such interrelations can be observed; but in addition to these contacts there are thousands of other contacts the relations of which are casual and not essential. In life as well as in science, the relations of the first kind are seldom met on the surface of phenomena; they are usually masked by secondary, unimportant facts. Moreover, the personal experience of the child lasts only months, while many phenomena and changes in the outer world last for years. The child lives almost exclusively in the present, while half of the actions of the adult are intended for the future.

Even if we assume that the next stage of mental development is merely the period during which we acquire the capacity of distinguishing the essential relations and dependencies between objects from the accidental ones and the knowledge of the duration of every-day phenomena, this stage will be very long. The life of one man would not suffice to achieve even these two modest aims, if we were confined only to our personal experience. Fortunately, children of cultured races are surrounded from their earliest childhood not only by natural factors, but also by artificial combinations of objects and relations created by culture and on which human thought has worked for ages. From our earliest days we meet everywhere around us available forms of the experience of other people. The heavy burden of personal experience is thereby alleviated. But even if the primary education is very illustrative, the teacher cannot do without a system of symplified symbols, i. e. words, pictures and graphic images in general. The pupil must be ready for the perception and memorizing of these symbolic images, for otherwise education would be fruitless. If the perception of symbols is impossible, they either are not perceived at all, as in the case of animals, or they are perceived separately from the products of the personal experience, as happens when the material is too difficult for the age of the pupil.

To help the pupil to learn the symbolic rendering of the facts of the outside world, it is necessary that this symbolism should correspond, both in contents and degree, to the symbolization of impressions that takes place within the child without any education.

This mysterious work of the transformation of sensory products into apparently less and less sensory symbols, together with the innate capacity of speech, enables man to combine the products of the experience of another person with those of his own (i. e. to learn what is taught to him), and is the most characteristic feature of all his subsequent mental development. The transition to this stage of psychical evolution seems to be a very sudden change in the mentality of the child; however, it is not so, as we shall presently see. The child was thinking in terms of concrete sensations and suddenly the objects of his thoughts, instead of copies of reality, become reflections of this reality; at first these reflections are very close to reality, but gradually they deviate so far from their source that all noticeable connections between the sign or symbol and its sensory origin disappears.

These signs or symbols are usually called abstracts, or mental abstractions from the actual state of things. The corresponding phase of development is called abstract or symbolic thinking. This phase begins in early childhood and lasts without any break all our life.

10. From now on, our task will be to study the conditions of the development of *abstract thinking.*

This field of phenomena is extremely varied, for it includes practically all human knowledge; therefore I shall begin by establishing the limits and plan of our investigation.

1) It has already been mentioned above that the most characteristic feature of abstract thought is the greater or lesser symbolism of its objects. The nearer the product of thought is to its sensory source, the greater is its likeness to reality, and vice versa. At a certain distance from its source, the object looses its sensory character altogether, and is transformed into a non-sensory sign.

Our first task must be the study of the conditions that lead to the change of sensory impressions and their derivatives of the 1st, 2nd, etc. degrees, into symbols.

2) With the progress of his mental development, man becomes dissatisfied with the information directly provided by his senses. Even a child at the age of 2 or 3, begins to be troubled with the questions of «how?» and «why?». The answers to these questions form the so-called explanation of phenomena; this is a seemingly active mental process not identical to the process, by means of which man states facts and describes them; it has always been the main argument in proof of the existence of the human intellect,—an instrument for the explanation of facts. Our second task is the explanation of this form of psychical activity.

3) Our last task is the elucidation of the conditions that lead to the change of the sensory thought into the non-sensory and the analysis of some examples.

The study of each of these three items must consist in deciding, 1) which of the innate properties of the developing nervous organisation, or what new properties, can explain all the three categories of phenomena; and, 2) does the form of the external influence remain the same in this phase of development, or do new influences appear which have not been mentioned before; in other words, can all the essential traits of abstract thinking be explained by Spencer's hypothesis, or not? Is the next phase of development similar in its principles and type to the preceding forms, or do new factors take part in it? The reader who is more or less familiar with the nature of these problems will understand in advance that I am far from solving these questions in an exhaustive manner. Indeed, this would entail expressing in terms of the neuro-psychical organisation and external factors the difference between man and animals, since abstract thinking is the specific property of man; and doing this at a moment when we do not yet know any essential anatomical or physiological difference in the organisation of the brain of man and animals and when we have in general a very limited knowledge of this organisation. It is clear, therefore, that these questions can be considered by me only from a very general point of view.

Chapter 6

Thinking in symbols or abstractions. The inner symbolizing of impressions, or the formation of conceptions and notions. External symbols, or the expression of notions, conceptions, and impressions, by means of symbols, i. e. elements of speech.

1. Let us imagine for a moment that the world is filled with identical trees, lakes, rivers, and mountains, i. e. that objects have no individual traits. Then their memorizing would be a very simple task: as soon as a given concrete form has been differentiated and memorized, it would serve in all future occasions, and our memory would be filled, not with symbols, but with reproductions of reality. You could call all mountains by one name, for instance Mount Kazbek, and there would be no difference between this name and the word «mountain». Let us imagine, on the other hand, that the individual traits do exist, and that man is unfortunate enough to memorize every object with all its individual peculiarities. Then the usual objects, such as the tree, the stone, the horse, would require thousands of images, and the mental processes of man would not go beyond concrete object-thinking. Fortunately this is not so. According to the law (already known to us) of the registration of impressions, all similar objects become fused in our memory. We think abstractedly of the oak, birch or pine, though we have seen these objects thousands of times in various forms. These products are not a faithful copy of reality, because the impression out of which they have developed varied at every actual contact; but in their essence they are separate sensory images or signs which replace a multitude of similar objects. These images are *symbols of the first category*; even a child must use them if it has already seen several birches, dogs or horses.

Later, the thought of the child passes from the average oak, pine, or birch, to «the tree», a common image or sign for a great number of less similar objects. «The tree», even in the mind of a child, is not merely a symbol of speech but a considerably differentiatiated image. When the child draws a tree correctly, first the trunk then the boughs and the leaves on them, this is a proof, not only of the capacity of the child to abstract the outline of the object, but also to define its parts and their topographic relations. These are the *symbols of the second order.*

At this stage of abstraction from the primary sensory images (i. e. from impressions of real trees) the most unstable elements are already rejected (size, volume, direction of vision, and colour of parts). The rest,—*a simplified or abbreviated symbol* or sign for a definite group of external objects,—is preserved by the majority of people for the whole of their lives.

The origin of such symbols (of which there is apparently an unlimited number in man, since we can represent different landscapes by means of outlines and separate lines) hardly needs explanation. The whole matter lies in the differentiation of the physiological reactions of perception and in the increase of the depth of the traces left in the neuro-psychical organisation by the perception of the more similar impressions.

In this sense *every simplified symbol, like the one mentioned above, is, in its contents, a fraction of the whole object for which it stands; and the cor-*

responding process is a fraction of the whole sum of reactions of perception (or, more exactly, a trace of these partial reactions).

2. As life goes on, the complex of perceivable objects and phenomena grows, their combinations into groups and chains become more varied, the experience registered in the memory of the child increases. On the other hand, with the greater exercise of the organs of senses and of the whole system of the adaptive motor reactions of the body including locomotion, (especially of the movement of the hands when seizing objects and breaking them into parts), the acts of perception become more and more fractional, preserving their former physiological differentiation [1]. The child becomes capable of abstracting more or less small parts and traits of the objects and of disintegrating them more and more both physically and mentally, penetrating at the same time from the surface of the object deep into it.

It is easy to imagine what a tremendous number of separate sensory states must arise in the course of an analysis limited on one hand by a whole landscape and on the other by a grain of sand. And all these sensory states pass through the mind and must become elements of thought! When one thinks of this, one wonders, not at the variety of objects, but how the mind can cope with such an enormous mass of material. The answer to this question is fortunately simple. Along with the multiplication of the objects of thought by analysis, there takes place the reverse synthetical process of recombination of thousands and millions of similar individual traits into single terms or signs; the disintegration is accompanied by the selection of the isolated traits leading to the reconstruction, first of the parts of the disintegrated objects, then of the objects themselves. It is easy to show that this is not a mere metaphor. Take, for example, «the tree» of the child. To become really an average term, it must consist of an average trunk, and average branches and leaves. This «tree» is, therefore, at least apparently, a product of numerous disintegrations of the generalization of parts and the reconstruction of the whole by means of these generalizations.

With respect to each object, this disintegration or analysis is a means of discovering all its properties. With respect to the sum of all objects, it is a means of classifying the objects themselves, as well as their traits and relations.

The analytical work of disintegrating every object into parts or traits and the recombination of the similar parts of different objects into average terms do not present anything new to us. The capacity of the eye, for instance, to see each point in the object separately is the result of the construction of the eye; and our capacity to abstract a part from the whole is, as we know, due to the separateness of our acts of perception. Finally, the recombination of similar parts into average terms is a registration in memory according to similarity. But what do we mean by the words «recombination of generalized parts into a generalized whole»? When speaking of the abstraction of parts and traits from whole objects, I mentioned that stable traits can be

---

[1] As soon as the child has learnt to seize objects with his hands, their breaking and tearing into parts is inevitable,—first unconsciously, then on purpose.

reproduced both separately and as a group. This is so, of course, not only in childhood, but during the whole of our life; in the meantime, the traces of entire concrete objects (i. e. the whole sum of traits composing an object) and those of their isolated traits and parts (i. e. of the separate items of this sum) become gradually transformed into average results. Consequently, the relationship between the symbolic whole and the symbolic part remains in all stages of abstraction the same as the relationship between the concrete whole and its part.

A «generalized tree» is a member of the «generalized forest» as much as an «actual oak» is a member of an «actual forest». Every time we come into contact with an object of the outside world, the neuro-psychical process may proceed in two directions: from a complete impressions to its parts and vice versa. The first case corresponds to analysis, the second to synthesis (a reproduction of the whole group at the hint of one of its items). But, of course, this disintegration and reconstruction of the sensory products are a primary school where man learns to disintegrate and reconstruct objects actually, and not fictitiously.

It is impossible to enumerate the results of the transformations described above; but if we turn to Spencer's hypothesis that the only factors of evolution are the external influences and the modifications of the neuro-psychical organisation, we can describe the results of the processes mentioned above in the following manner.

1. The multiplication and variety of similar objects of the same kind or species (as the naturalist would say), or at least of objects of the same species, leads to the formation of average results, which are usually called the *ideas* of objects.

2. The multiplication and variety of the contacts with dissimilar objects leads to still more general average results, the so-called *notions*.

3. The multiplication of contacts with the environment, leads to the progress of our means of observation and analysis, and thereby to the *symbolizing of parts, traits and relations*, giving products that belong directly to the sphere of the extra-sensory.

4. All these results are obtained by analysis, synthesis, and comparison or classification.

Let us consider these points.

The *idea* of an object differs from the differentiated sensory image of a concrete object in two respects. The latter is the result of the differentiated sensory perception of an object, and consists of a sum of traits directly accessible to the senses. An idea is the average of many separate similar objects, and in addition to external traits it includes some traits that can be revealed only by a detailed mental and physical analysis of the objects and their relations to one another and to the man. As an abstraction from a multitude, the idea of an object is a symbol. As a combination of the properties and relations of the object to other objects and to the man himself, the idea is much richer in contents than the preceding synthetic form (the differentiated sensory image) which combines everything that a person knows about the object. In this respect, *a complete idea* must include the whole natural history of the object, as well as all its significance in human life.

Complete ideas are therefore very rare in the minds of people [1], and those formations which we usually call by that name are merely scraps of the full idea which is possible at the moment; these scraps differ in contents, not only in various people but even in the same person in various cases of reproduction (thinking).

Let us take, for instance, the «idea of a chair». Many people have seen chairs millions of times during their lives,—chairs of such various forms and from such various points of view (from the front, back, side, etc.), that if the idea were a simple combination of separately obtained images, the result would be an impossible mixture. Nevertheless, everyone knows that a «chair consists of a horizontal seat, four legs under this seat and a vertical back behind the seat». In this generalized and common form, the product has a definite outline in space (it can be drawn), and at the same time the practical use of the chair as a seat has evidently taken part in its development. The joiner's idea of a chair must be more complete than the one given above, for it includes the material and the technique of cabinet-making. The idea of the owner of a metal-ware shop would be different again, as the materials and the industrial process differ from those of the joiner. The idea of a chair would again be different in the mind of a connoisseur of old furniture or in that of a naturalist, should the latter take it into his head to write the history of a chair, as Faraday wrote the history of a candle. But though our ideas of objects are fragmentary they are undoubtedly products of abstraction, or symbols; and at the same time they represent the 3-rd degree of transformation of all primary sensory forms.

The origin of the symbols called notions can be demonstrated by simple examples: in the mind of the child, the tree, the bush, and the grass, as abstractions from groups of similar concrete objects, are ideas. The child is, of course, conscious of the relationship of the tree to the bush, when he speaks of a bush as a «small tree»; but the grass is compared in his mind to both, because he draws all the three forms of various size, projecting vertically from the surface of the earth. This shows that a comparison of those objects (according to the similarity of his perceptions), in respect of their size and position is space has already entered his mind. Later, when the child has learnt (either from his own experience, or from the words of his mother or nurse) to distinguish the stalk and the leaves of grass, he probably feels its relation to trees. But even then, if you tell him that trees and grass are plants he will not understand the last word, because it has no sensory form. The child may learn this word and even use it correctly, but it will for a long time remain only a general name for similar objects. The words: beast, bird, insect and animal undergo the same transformations in the child's mind. The sense of the first two words can be easily explained to the child (*e. g.* the beast may be defined as a quadruped); but the word «insect» requires special education, since uncultured people can not use it correctly, and even the words «animal» and «plant» remain mere names of objects for those people who are not initiated to the mysteries of zoology and botany.

---

[1] Even then, their completeness is a relative one, since knowledge progresses, and ideas have to be partly extended, partly modified.

The process of formation of notions and names in the scientific systems of classification is still clearer. The words «vertebrates», «annelidae», etc. correspond to definite notions, to the characteristic general traits of definite groups of animals; and the words «variety», «species», «genus» etc. are conditional labels for groups of animals forming a chain of various degrees of similarity. By words of the first kind we mean realities (certain common features in the structure of different organisms) and by those of the second kind — symbols that can without detriment be replaced by any other words. This is the essential difference between the label and the notion, a difference which is unfortunately very often overlooked.

In the scientific systems of classification, the abstracts are obtained by a juxtaposition of separate parts or traits abstracted from whole objects. Here are some examples of the juxtaposition of the relations between objects. When a child has learned to see, it apparently feels the external objects as lying outside its body, because it stretches out its hands to the bright objects before it, while sitting on the knees of its nurse. Later, when it has learned to walk, it can already see the distance of objects, because it seizes the nearest ones with its hands and runs to the distant ones. It is guided in these recognitions by the differentiated muscular sense which accompanies the adaptive reactions of the eye. Moreover, it soon learns to feel the difference in the size of the surrounding familiar objects. Thus, when drawing a man, it does not make the head bigger than the body. We clearly see from these drawings that the sensory substrata by means of which an adult measures the height and width of objects is already present in the mind of the child.

I believe this is due to the fact that in most objects surrounding the child the greater dimensions are vertical (man, tree, grass, church, house), and the ground on which they stand seems horizontal to the human eye. This must be the cause of the habit of determining the upper and lower parts and the sides of objects by moving the eyes mostly vertically and horizontally.

Consequently, the vague sensory formations, which we call *spatial relations* develop even in childhood. They are vague because we are unconscious of the factor which determines them, i. e. of the muscular sense accompanying our visual acts. These muscular sensations are the necessary companions of all visual acts and are repeated every moment of our life. They form together the so-called musculo-visual associations; on the other hand, they are isolated from the latter according to the general laws of the dissociation of impressions, and are recombined with each other, producing such notions as *distance*, *top*, *bottom*, *size*, etc. Thus the abstract thinking in terms of forms, sizes, and notions is a process of reproduction of the traces of the motor reactions of the eyes and hands formed during the acts of vision and touching.

It is easy to see, from the above examples, that the symbols of parts, traits and relations abstracted from entire objects occupy an intermediary position between ideas of objects and extra-sensory mental forms; indeed, in spite of the evident presence of the sensory factor in them, these abstractions are so distant from their sources, that their sensory origin is hardly noticeable. Serving, therefore, in our mind as substitutes for reality, they very of-

ten seem to be, not merely *abbreviations*, but even *conditional symbols* of this reality.

Let us now pass to the last point. The classification of objects is wrongly supposed to be the monopoly of scientists: the layman, and even the child, is also busy with classification, though in this case, the operation is, of course, performed on closely related objects. Moreover, the traits that serve for the classification are directly accessible to the senses. A tree and a bush, a river and a brook, a mountain and a hill, are distinctly suited for comparison according to size. Objects with distinct outlines will most probably be compared according to these outlines (a straight, crooked or snub nose); heavy objects—according to their weight (metals and feathers as their antithesis), sounds—according to their pitch, etc. Every remarkable trait in a chain of similar objects inevitably leads to their juxtaposition and registration in consciousness according to similarity. Such juxtapositions are also necessitated by the practical needs or occupations of daily life. A mountain and a hill are represented in the mind of the mountaineer not only in their visual form but certainly also recording to the comparative fatigue of climbing the one and the other. A coolie probably has in his mind a standard for the weight of most different objects. Therefore, classification is of no practical value in some cases, and directly useful in others.

The ability to make a general classification of objects, or more exactly, the ability to juxtapose any two, three, or more objects of the outside world, is due to our reactions of perception, which become more and more differentiated through exercise, but at the same time remain distinctly separate. For example, form, colour, distance, direction of vision, etc. remain the visual traits of objects and their parts at all stages of exercised vision. In other words, the reactions of vision are similar when we look at several grains of sand or at a whole landscape; and as the similarity of reactions always corresponds to a similarity of traits, we can juxtapose, according to similarity, things which, in everyday life, are wrongly called unlike. There can be no absolute unlikeness in the external world, because the instruments of perception of the sensory impressions of all objects remain the same. For this reason all objects of the outside world are called *visible*, and such general properties as length, texture, mass, and weight are ascribed to all objects. It is impossible to imagine a body devoid of these properties. Now since there must exist some sort of partial likeness between any two objects, it is obvious they can be arranged in chain according to their similarity. When giving a physiological explanation of those properties of objects which are directly accessible to our senses, we reckoned 21 such properties. The number of possible likenesses between objects must also be 21. All bodies, with very few exceptions, possess all visual and tangible traits. Therefore even the most dissimilar objects can be compared according to similarity in nine directions,—even when the comparison is based exclusively on those outward features which are directly accessible to our senses, and the objects have not been physically disintegrated to permit our senses to penetrate deep under their surface.

This indicates without any further explanation the tremendous number of thoughts of which man is capable when the sensory images of objects assu-

me the form of ideas and the differentiation of reactions has reached its limit. (We must not forget that even then the thought remains a comparison of objects in some relation or other). There is not doubt that from the beginning of the world to the present day there has never been a man through whose head *all* the possible mental juxtapositions of *all* the objects of the external world in pairs have passed; this process would not only be too long for the duration of one human life; it would also be as useless as the raving of a madman. Nevertheless, every man is capable of such juxtapositions, and this explains why, with the development of symbolization, the sensory products of the primary mental stages assume more and more the form of thoughts and ideas. Therefore the symbolization of impressions is rightly called their *idealization.* The initial sensory product after being subjected to the transformations described above, loses the bright colours of reality, but gains as an idea.

Consequently, we can establish only the following processes in the inner symbolization of the objects and phenomena of the outside world (i. e. in the formation of abstractions of varying degrees): 1) a progressing differential analysis of the sensory concretes which covers a greater and greater number of the latter, 2) a classification of entire objects,—as well as their parts, separate traits, states, and relations,—into groups of greater and greater generality. The first half of the processes corresponds to a more and more differentiated dissociation of the sensory groups and chains, and is necessarily connected with the exercise of the organs of senses and the increase of the contacts with the environment. This process is essentially the same as the process by means of which, during the early stages of mental evolution, a group of objects is differentiated into its parts, or a separate object is differentiated into its traits. In this respect, abstract thinking is a natural continuation of the preceding stages. The same may be said of the second half of the processes: the acts of classification, whatever the objects may be, are always either a juxtaposition of the objects undergoing classification in pairs, or their examination one by one; in the latter case the impressions of each object are compared with the reproduced generalized trace of preceding similar impressions. In both cases, the juxtaposition inevitably leads to the fusion of similar traits of the new impressions with the old ones, and to the formation, in the generalized trace, of combinations of similar traits corresponding to the species or genus. Here again we have the application of the general law of the registration of impressions according to similarity.

We conclude that *the general cycle of inner transformations of the sensory elements into more and more symbolic forms, which begins with the ideas of objects, and leads to the extra-sensual sphere, can be explained by Spencer's hypothesis almost as clearly as the evolution of the preceding stages of thought.*

Only one side of the human organisation remains absolutely unexplained: it is the fact that even the child has an instinctive interest in an analysis of objects without any direct relation to their orientation in space and time. The higher animals, judging from the structure of their sensory mechanisms (at least the peripheric parts of these mechanisms) ought to be capable of a very detailed analysis, though in a lesser degree than man, who possesses such a sensitive instrument of analysis as the hand, with its wonderful

tactile surface. But for some reason the animals never go beyond the limits of practical orientation. The animal remains all its life a narrow utilitarian, while man is a theoretician even in childhood. There is no doubt, however, that in the mental processes of a man, this feature is no more than an indefinite stimulus (like hunger for instance, which obliges animals to look for food) and does not directly affect the development of the thought itself.

A thought composed of symbols of any degree of generalization remains a differentiated sensory group, or the sensory expression of a nervous process which travels along an isolated group of differentiated nervous pathways.

4. Passing now to the question of the external symbolization of sensory acts, I must warn the reader that this problem is complicated beyond my competence [1], and I raise it only because there is one point in it which cannot be overlooked by the investigator of mental processes.

Our capacity to express our mental states by means of conventional external signs is not only a means of mental communication with other people, but also an accessory, or even an instrument, of our own mental processes. Owing to education, our thoughts are expressed in words even in childhood; and little by little we learn to think in 3 different manners: 1) by more or less disconnected or abbreviated reproductions of what we actually feel without the use of conventional symbols, 2) by the same abbreviated reproductions expressed in words, and 3) only by words. The stronger the sensory elements in a given impression, the greater are the chances for the reproduction of this impression in the first form. The more symbolic the sensory elements of the moment, the greater are the chances for their expression in the habitual symbolic (abbreviated) form; for the majority of people, this habitual form is the spoken word. When the human thought passes from the sensory into the extra-sensory sphere, speech becomes a necessity as a system of *conventional* symbols developing with the development of mentality. Without speech, the elements of the extra-sensory mental processes, deprived as they are of image and form, could not be fixed in our mind. Speech makes them objective, gives them a fictitious reality and is therefore an absolutely necessary condition in all mental operations with extra-sensory objects.

These facts are well known, and it would be useless to dwell longer on them. Still, some questions arise that we have no right to overlook.

If we take into consideration that the greater part of the knowledge of a person is formed by the experience of others, transmitted in oral or written form, the thought naturally arises than the capacity to speak and write is perhaps even more important in the mental development of man than the so-called personal experience understood as forms of sensation which become gradually more generalized and differentiated in propertion to the increasing change of the subjective and objective conditions of perception. If this is so, then the main factors of mental development are not those general factors, extablished by Spencer, the combined influence of which creates

---

[1] The symbols by means of which a person expresses his mental states, include: the natural gesticulation of the whole body, including the voice; the conditional gesticulation (mostly imitative) of deaf-and-dumb people; speech and written characters; and the whole system of mathematical symbols.

personal experience (the developing inborn nervous organisation and the action of the environment) but those mental transformations which take place in the mind of a pupil when he is taught to speak, read and write. It might be supposed, therefore, that the nature of thought as a process undergoes deep changes with the introduction of speech.

5. To solve these doubts, it is first of all necessary to learn the structure of the muscular and nervous mechanism of speech, and to investigate the process of teaching words to a child.

We can whisper in two manners: by the slight inhaling and by the slight exhaling of air. In both cases, the motion of the air through the oral cavity is accompanied by sounds, and these sounds are shaped into words by the movements of the velum, tongue and lips. The whole mechanism of speech consists in various combinations of the activities of the muscles which govern the motion of the above mentioned organs. The place in the brain where the various impulses arise which direct the movements of the muscles of the tongue, lips and the palate, is well known. In this respect, however, the organs of speech do not differ from other neuro-muscular mechanisms, for instance the hand, for the combinatory movements of the latter are at least as varied as those of the organs of speech. The hand can, not only write all the words of the speech, but also perform a great variety of other movements; the nervous centres of the hand are situated in the same regions of the brain as the centres of speech. We know further that a definite facial expression corresponds to the emotional character of speech, and that strong emotions paralyse not only speech but also the movements of other parts of the body. All this shows that there exist special nervous pathways leading from the sensory spheres to the centres of speech. In addition to these analogies, our organs of speech are characterised, at least in early childhood, by the faculty of being set in motion by acoustic influences. The child (as well as some birds, such as the thrush and the parrot), instinctively imitates the sounds that it hears. For a very long time, the cow and the bird are represented for him by the sounds «moo-moo» and «twit, twit». This peculiarity of the neuro-psychical organisation serves later as a means of learning words. We can explain this inborn capacity to imitate sounds, no more than the inborn capacity of our eyes to abstract impressions; one thing we know definitely: this imitative capacity is unconscious, and hardly differes from the corresponding capacity of the parrot, and this fact is sufficient for our purposes, for it shows that *one of the factors in the development of the verbal symbolization of impressions is the inborn neuro-psychical organisation of the child; this is in full accordance with Spencer's hypothesis.* Now let us examine the ways of learning word symbols.

I have mentioned several times that thought is nothing else than a successive chain of sensory signs corresponding to the conduction of the nervous process along definite pathways,—a series of signs indicating the existence of several separate acts of perception. Thus, when I see a «yellow, round body, with a certain smell and taste», the following succession of sensory signs passes through my mind: *yellow, round, spherical, smell, taste,* which correspond to the following physiological reactions, *purely-optical,—optico-muscular, musculo-tactile, smell, and taste.*

When I have been taught to designate this object by a corresponding word, a new sensory sign will be added to those mentioned above; the sound-group «*orange*» with the corresponding *acoustic* sensation.

When a child has learnt to pronounce a word, the reaction in his mind becomes an *musculo-acoustic* one. It is obvious that the new elements differ from the old only in their form. All our impressions from external objects and their relations, even such concrete impressions as a certain dog, or a certain tree, are merely sensory signs of external objects and their relations. This means that words do not introduce into our mind any elements which are not connected with sensation. Therefore the visual sign of the object and the acoustic sign that comes from the lips of the mother, become associated according to the law of contiguity, and the object receives a name. Probably a long time passes before the child begins consciously to separate the name of the object from its natural properties. Even adults are apt to confound the names of objects with the objects themselves. One thing is definite: the teaching of words consists in the coincidence of external influences on the hearing of the child with their influence on the other organs of sense; therefore, *the second factor of the symbolization of impressions is*, in accordance with Spencer's theory, *a complex of variable external influences.*

Such are the first steps of the child in this new field of impressions. The second step of symbolization is the differentiation of the name of the whole object from the names of its properties, a step which corresponds to the abstraction of traits from an object. Later, when, in addition to learning, the differentiation and classification of objects and their abstracted parts (traits and relations) begins to take place, new terms become necessary. These new terms are provided by speech, which has always, in the history of humanity, been developed in proportion to the development of mental processes. The classification of objects according to similarity is accompanied by the creation of names for the kind, genus and species; their differentiation is accompanied by the creation of names for the whole object and its parts; the transition of thought from the objects themselves to their properties and relations is accompanied by the transformation of adjectives and nouns into verbs, etc. But man learns all this not only theoretically but also by the practical application of what he has learnt; owing to this, the elements of speech cease to be acoustic labels attached to the elements of thought: the words become representatives of personal experience, and as such can be combined into definitely coordinated sensory groups. When this has taken place, it makes no difference to us whether we think in direct symbols or by translating them into the language of conventional signs.

This last step in the evolution of external symbolization, i. e. the complete separation of the name from the object, is also achieved very gradually by means of the separation of the acoustic members from the sensory groups with which they are associated. Being equivalent to all other elements of the association, the names must evidently share the fate of all the elements of the associated group: they can be hints for the reproduction of the whole group in the mind; they can be themselves reproduced when the hint is supplied by some other element of the group; finally, they can be abstracted like any other traits.

From whatever side we approach the matter, the result is always that the introduction of word symbols into our thoughts is either an addition of new sensory signs to the already existing series, or the substitution of some signs by physiologically equivalent ones. It is evident that this does not change the nature of thought.

Even metaphysical thought, taken as a process, remains a chain of sensory traits corresponding to the conduction of excitation along definite nervous pathways.

Chapter 7

Active forms of mental processes, Selfimpressions. Selfconsoiousness. Deductions in general and deduetions from action to canuse.

1. Passing now to the analysis of the vast class of phenomena which give our mental processes a clearly expressed active character, I shall first try to formulate the problem.

When applying Spencer's scheme to the development of object thinking out of thinking in complex impressions, we were necessarily obliged to represent man as the passive substratum of the neuro-psychical transformations that take place within him. Instead of studying man, with his varied mental initiative, we studied his inborn neuro-psychical organisation with its inborn capacity to develop in a definite manner under the influence of external factors as a perfectly passive soil subjected to the cultivating influence of the environment. In a certain sense, the development really proceeds in the manner described above, insomuch as man perceives and acquires the elements of his own and other people's experience. But everyone knows that a person who has learnt to think not only acquires the elements of experience but applies the results of this experience in practice: man as a thinker, observes and analyses facts; he compares them and draws conclusions; he can sum up the results of this analysis and comparison, and discover the causes of phenomena; in all these cases, he acts, and therefore the whole complex of phenomena is called *active thinking*.

Let us analyse these phenomena.

2. When the child has learnt to express its emotions in words, we can see from what it says that it clearly feels *its initiative* in thoughts and actions. Its speech is as saturated with the pronoun *I* as the speech of an adult, if not more, Its Ego feels, thinks, laughs, wishes, runs, cries, and in general loes everything which involves either its mind alone, or its mind together with its hands and feet. It is evident that this use of the word *I* must be based on sensory states,—otherwise the child could not have acquireded this form of expression. The speech of the child deals with reminiscences of what it has seen, smelt, touched, in general *what* it has felt and *how* it has acted. These are reproduced acts, but with the element *I*, which is new to us, and which gives an active character to the thought. The whole matter lies in the sensory character of this word *I*. In addition to perceptions from the outside world, man continuously receives impressions from his own body. Some of them are perceived in the usual way (his own voice—by hearing, the forms of his body by sight and touch); some come, so to say, out of the inside of his

body appearing in his mind as indistinct, obscure sensations, in connection with the processes that take place in the anatomical systems of the body (hunger, thirst, fatigue, etc.), and are, therefore, rightly called the «systemic» senses. Accompanying the acts that continuously take place in the body, they must always be present in the mind of a person, and if we do not always notice them this is due to their extreme weakness as compared to the products of the higher sense organs. But as soon as one of the systemic impressions becomes stronger than the others, it immediately either prevails in our mind, or at least, becomes an equal member of the associated chain that is traversing our mind at the moment.

Therefore, man cannot have any objective impression unaccompanied by some form of systemic sense. In this association, the object of the outside world is the equivalent of the part of the group provided by the activity of the higher sense organs, while the second part has no external equivalent. The first part of the sensation is purely objective, the second—purely subjective. The first corresponds to the external world, the second,—to the sensory states of the body, *(self-sensations or self-impressions)*.

When we are conscious of such a sensory element it always becomes associated with the impressions from external objects surrounding us at the moment, and gives a subjective character to our sensory state. But as the systemic sensations of normal people are always very vague, indistinct and undifferentiated, the isolation of the separate elements composing the subjective factor seldom takes place. This is proved by the fact that in those cases, when, in the course of the dissociation of a group, the subjective factor becomes isolated, (this dissociation takes place, of course, according to the laws already given above) human speech has no special term for it (we exclude those cases when this product is indicated by a name, *e. g.* John, Peter), and we designate it, even in childhood, by the generic symbol «*I*».

Owing to the frequent formation of such associations, which I shall, for the sake of brevity, call in future «*personal sensory chains*», any sensation, however disconnected, can appear in our mind and speech in two forms. In the first case, the sensation or thought expressed in words is always an objective recital of what has been experienced, for instance, «the tree lies on the ground», «the dog is running», «a sparrow is chirping», «that flower smells». In the second case, the same acts become the description of a definite personal experience, «I see a tree lying on the ground», «I see a dog running», «I smell a flower», etc. The apparent difference between the two cases is only in the addition of two subjective factors «I see» and «I hear»; but what a great difference both in form and contents! In one case the phenomena are described as taking place outside us; in the second—the same phenomena are considered as our sensory acts.

But of course, this difference becomes distinct not in childhood, but later on, when the reactions of perception have not only been completely differentiated, but when they are also classed in groups, according to their greater or lesser similarity and to the sense organs to which they belong. Then all the members of the typical personal chains, usually expressed in speech by verbs, receive a definite meaning in our mind. The effects of the excitation of the sense organs by light, sound, odour, etc., become abstracted from

everything else and are symbolized under the names of «*hearing*», «*sight*», «*touch*», «*smell*», and «*taste*», as species of the genus «sensation», while the corresponding motor reactions become disignated as *looking*, *listening*, *smelling*, *touching* and *tasting*, and denote the active forms of the same processes (which is, of course, wrong, because the passive forms correspond to the stimulation of the nerves by light, sound etc. while the active category consists of the muscular reactions participating in the acts of perception) and are regarded as species of the genus «action». The connection with the sensory element *I* does not disappear; therefore, the final result is the creation of two forms; the passive «I see», and the active «I do».

Consequently, the *self-consciousness* of the adult is derived from the *self-sensation* of the child. It enables man to assume a critical position towards the acts of his own mind, i. e. to isolate *all his own inner factors* from the external factors, to analyse and compare them, in a word, to study the acts of his own mind. This self-analysis is a very simple phenonenon, though it sometimes leads to very strange conclusions. This can be illustrated by the following simple example: we are told from our early childhood what may, and what may not be desired, what actions are good or bad, and what results a bad action leads to. Therefore, if the child happens to remember some action for which he has been reprimanded or praised, the reprimand or praise becomes an element of the reproduced picture, and give a specific colour to the motive of the action, the action itself, and its result. Is not this self-analysis, or even self-judgement? The same is true of similar examples in the life of the adult. In both cases, the matter lies in the mental reproduction of the action, differentiated into motive, action, and result, with a definite valuation of all the three members of the chain according to some moral code. Nevertheless, this phenomenon seems mysterious to many people. They say that man is double, because he is able both to act and to judge his own acts. These erroneous explanations are the result of our habit of separating a person from his actions and thoughts, forgetting that this separation is purely mental, and does not exist in reality.

I shall not dwell any longer on self-consciousness. This would entail going beyond the limits of my task by undertaking a study of the logical side of mental processes. So I shall return to what I have said in the beginning of this chapter about the capacity of man to observe, analyse, compare and draw conclusions, and shall try to find the causes of these phenomena.

3. If we leave out the unexplained inborn capacity of man to observe, and turn to the process of observation itself, we shall find in it nothing beyond our skilled use of the sense organs which enables us to note very delicate features in the data provided by these organs. As for the *conscious comparing* of objects, taken as the active form of unconscious *passive comparison*,—this is merely the expression of the same process in the passive voice. The same can be said about the process of *generalization*, i. e. of the combination of similar objects in more and more generalized groups. In both cases the definition of similarities or differences takes place independently of our will and reason. The drawing of conclusions seems to be different, for deductions are always considered as conscious acts of our intellect. This pont must be discussed in some detail.

In everyday life, and in manuals on logics, the word «deduction» is used to designate the final act of our intellect, which is always preceded by a mental juxtaposition of objects, or a series of such juxtapositions. A deduction is always the result of analysis or comparison, or of a series of analyses or comparisons. In its simplest form, it does not contain anything that has not been given in the juxtaposition which it follows. Now since the juxtaposition contains all the three elements of thought, viz. the objects compared and their relations to each other, it is clear that the deduction cannot be anything else than the thought itself. Therefore, in the case of deductions from juxtapositions the deducting mind does not perform any work: the man only repeats (mostly in the form of words) the preceding differentiated mental act.

However, very often (perhaps even in the majority of cases) the deduction does not correspond to the preceding juxtaposition. The logicians call this *an assumption.* Thus, in practice (in the field of concrete, symbolic and mixed thinking), the conclusion can proceed from the part to the whole and vice versa; from the trait, property or state to the object itself and vice versa; from a given individual case to cases of different degrees of similarity and vice versa,—or (which is the same) from the particular to the general,—from a phenomenon or fact of the present moment to an absent or expected future fact; from the present to the past and future; from the effect to the cause and vice versa; and finally, from the sensory to the really extra-sensory.

In all these cases, (I shall, for the sake of convenience, ask the reader to exclude for a time the deductions from the effect to the cause and from the sensory to the extra-sensory; these forms of deductions will be discussed later on) the mind must undoubtedly work, because the elements of the deducing are absent, and the deduction is effected from the present to the absent. But what does this work consist of? To answer this question, it is necessary to take into consideration that we are able to draw a certain conclusion concerning the category under analysis only on the basis of knowledge acquired by us in our previous experience. When this experience is absent, conclusion becomes impossible. Therefore the place of the absent member is occupied in such cases by reproduced elements of our former experience, and the conclusion becomes thereby possible. We draw a conclusion about an entire object by a part that belongs to it only on the basis of experience. (Reproduction by a part). In the same manner, from the specific movements of an object not seen before, we can conclude that we have to deal with an animal. This is the reproduction of a trait common to a whole class from an individual trait of a concrete object. For the same reason, when we see lightning during a storm we expect thunder (reproduction of a corresponding previous experience with a complete number of elements). All this is so obvious from what has been said above that no further explanations would be necessary, if we had not mentioned in our list of forms of deductions, the deduction from the present to the future and past. As I have not considered the conceptions of past and future, I must do so now.

In the sphere of the sensory mental processes, the *past* is, with respect to the *present*, mostly a reminiscence of what we have actually experienced. Man is in general capable to distinguish the past from the present owing to

the difference in the vividness of the contents and in the conditions of perception of the two forms (the actual impression requires an actual substratum while the reproduction does not). But when the several similar past sensations of various periods are reproduced in the mind simultaneously, there obviously must be some other means of differentiation,—some secondary events which have coincided with the facts juxtaposed and have become associated with them. The difference between these secondary events, (often perfectly casual ones) serve to determine the time when each of the juxtaposed actions took place; without these secondary events, it would be impossible to do so.

In other words, in the sphere of our sensations, the *past* as such does not possess any characteristic traits. Later, when we have learnt to know the *chains* and phenomena in their natural order, and to differentiate them in time, there are moments during our contact with a familiar chain when we feel that a certain element was present and has disappeared, another one is now present and a third one will presently appear. Of course, our sensations at the disappearance of an object, expecially if it disappears abruptly, are not the same as when the object is present; and the sensation of the actual presense of a concrete object differs from the sensation of expectation of the object that will come, inasmuch as the latter is a reproduction. Consequently in the course of our contacts with chains of phenomena we gradually learn to distinguish the moments that correspond to the successive appearance, course and disappearance of the elements of which the chain is composed. On the other hand our contact with fragments of chains accustoms us to juxtapose the intermediate elements of the chain with its extreme elements and vice versa (a reproduction of the whole from a part); and it is clear that in juxtapositions each preceding element when associated in our mind with the following one, must be endowed, with the attribute of disappearance, while the following one must be similarly endowed with the attribute of expectation. Still later, when the period of classification and generalization of differentiated chains has begun, these sensory attributes are transformed into symbols: the *preceding* and the *following*, the *beginning*, *continuation* and *end*, *the past*, *present* and *future*. Here, the past is what has disappeared, the present—what is now taking place, and the future—what is expected to take place.

From this rough sketch the reader will understand without any further explanation that man comes to the notions of *present*, *past* and *future* in the same way as to the notions of space, with the difference, that in the first case, the analysed and classified elements form originally a sensory chain with successive elements in time, while in the second they form a group with various combinations of its elements in space.

It follows inevitably that in our conclusions from the present to the past and future there can be nothing except elements which we already know from preceding experience. Therefore, *whatever may be the relation of the deduction to the assumptions, we cannot discover in it anything that is not contained in the assumptions themselves or in some previous experience which corresponds to these assumptions.*

I would even say that *from the psycho-genetic side, the deduction, or conclusive statement, is a former experience reproduced by means of assump-*

tions in all those cases when the mental act assumes the form of a syllogism[1]; the only thing that keeps me from making this assertion is the active process which is called the «drawing of conclusions»; however, even this difficulty will be eliminated in a few moments. The problem of the sensory origin of the process of deduction was first elucidated by Helmholtz. In his famous work, the «Physiological Optics» he analyses the conditions of development of spatial vision and comes to the conclusion that when a child has acquired the art of spatial vision, the sensory acts corresponding to it must assume the form of processes of deduction, because all the motor reactions of the child show at this period a sort of reasoning with respect to distance, direction, size and other spatial traits of visible objects. This reasoning is so clearly expressed in the sensory acts that Helmholdz does not even hesitate to call them conclusions, in spite of the fact that spatial vision appears at such an early period of life, that there can be no question of *conscious reasoning* on the part of the child. In order to avoid this difficulty Helmholtz was obliged to call these conclusions *unconscious* (unbewusste Schlüsse)[2],

We can sum up all that has been said above as follows.

Self-sensation, i. e. the association of all external impressions with the sensations of our own body, forms the basis of all phenomena. Even the child separates itself from its thoughts, desires and actions; this shows that the personal chains are differentiated already in childhood. At a more advanced age, self-sensation becomes self-consciousness. Man still separates himself distinctly from what takes place within him; this leads to self-analysis, self-judgement, and to the general feeling of one's own activity in the mental sphere. Being mentally active, man analyses, compares and makes generalizations, i. e. collects similarities into groups of greater and greater generality. He passes from the general to the particular and from the particular to the general, and draws conclusions. Moreover, all that has the passive form

---

[1] I do not think anyone still believes that it is possible to proceed from the known to what is really unknown. Even in those cases when a perfectly new juxtaposition is formed in the mind of a person, and the latter foresees the result, this result is still a member of the juxtaposition, in the same sense as the relation that connects the objects of the thought is a necessary third member of the thought itself. The only really new thing is, in such cases, either the juxtaposition of objects that have never been juxtaposed by anyone, or the juxtaposition of objects in a new way which has escaped the attention of other people. It is obvious that the honour of the discovery must be attributed to the assumptions and not to the conclusion, for the latter only states in the form of words what has been already done.

[2] The point of view of Helmholtz may be explained by the following example: imagine that a child which is already able to walk sees an object on its right. It turns in that direction, approaches the object to within an arm's length, stretches out its hand and seizes the object. Seeing all this, an observer may think that the child reasons in the following manner: «I see the object on my right, therefore I must turn to the right and walk for some time in that direction, because the object is at some distance. Now I am within arm's length from the object, it is unnecessary to move further; I stop and stretch out my arm». Consequently, the action of the child guided by spatial vision seem rational; but in reality they are based only on the differentiation of spatial relations or an analysis of spatial groups. When we regard the acts peformed by the child without bias, they contain nothing but the elements of differentiation in space; but as soon as we assume that the child is capable of conscious estimation, we involuntarily become persuaded that the child reasons.

of a mental process in his previous life is repeated as a deliberate action (analysis, comparison, etc.). The form is changed, but the essence remains the same. Therefore, *there is nothing in this sphere of phenomena that would not fit into Spencer's general scheme of evolution.*

Let us turn to the analysis of the further logical forms of mental processes.

4. There hardly exists in the sphere of logic any other question that is so much in need of a sound psychological explanation as the question of «cause» and «causal connection». These words, with the addition that «there is no effect without cause» are heard so frequently from the ages of antiquity that one would expect their purport to be well established; and yet, we have here an impossible confusion.

For the sake of brevity and clearness, I find it necessary to give a short summary of all the existing theories on this subject.

1) The ideas of *cause* and *causal connection* can be applied only to *phenomena*, and to *processes or chains* (both objective, i. e. phenomena of the external world and subjective, i. e. phenomena of the inner world of man); to successions but not to co-existences.

2) The cause is the active element of the phenomenon, and the causal connection is its relation to the secondary factors of the phenomenon; but this relation is peculiar: it is neither spatial nor quantitative, neither a similarity nor a relationship in time.

3) The causal relationship between the factors of the phenomenon is not directly accessible to our senses. It is revealed by the mind of the thinker.

4) The causal relationship is the first natural step towards the explanation of phenomena.

5) The causal relationship as a form of perception of the connections of objects belongs (together with the perception of the connections of objects according to similarity, sequence, and location in space) to the inborn capacities of the human mind.

A few examples will explain these points.

The fall of a stone to the ground is only a picture for the senses. The mind does not dwell on it, and turns to the explanation of the phenomenon: it concludes that the active element that causes the fall is the attractive power of the earth, and the rôle of the stone is only a passive, secondary one.

A river has broken through a dam after the storm. This is another picture, also explained as the consequence of the work of an active element,— in this case of the force of the water.

The same explanation is given of all disasters *caused* by the so-called destructive forces of nature.

The above examples are causal explanations of phenomena of the external world; here are some other examples taken from the inner world of man.

Our passions are often the cause of our misfortunes.

The judge finds the cause of the crime in the so-called criminal impulses of the criminal, in his character, conditions of life and even in his pathological state.

Here, of course, the connections are not the same as in the phenomena of

the outside world, but they have a common point as far as the crime is the fatal result of the criminal impulse or other factors, in the same way as the fire is the result of a spark.

It is clear that in the sphere of mental processes the causal relationship is a new form of juxtaposition of the objects of thought which appears in addition to juxtaposition by co-existence, succession and similarity. The last three forms are connected, as we know, with the inborn neuro-psychical organisation; and this permits us to suppose that causal juxtaposition develops from these three forms of juxtaposition. We shall presently see whether this is true or not.

5. During the period when in the mind of the child, the process of differentiation (analysis) of complex impressions into groups and chains, is taking place, followed by the differentiation of these groups into separate elements and of the latter into the parts composing them (a process which, as we know, is based on the registration of impressions according to their similarity and position in time and space),—the mind of the child is filled with the pictures of facts registered without any explanation. But as soon as the child has learnt to speak, it develops, by some unexplained process, an interest in the objects of the outside world. This interest is expressed in an inquisitiveness which makes the child ask such questions as «Why cannot the table move, while the sun moves without any feet?»; «Where does the sun hide itself in the evening?», «Why does the wind make a noise?»

These questions may be an indirect result of things previously said by the mother; these show, anyhow, an attempt to explain the facts seen and heard. Of course, the questions generally concern invariable phenomena, for only these are firmly fixed in the mind of the child and have become familiar. We see that the habit of searching for a causal connection between objects or phenomena is based on the valuable inborn capacity of our neuro-psychical organisation which is manifested in the child as the unconscious craving to understand the surrounding facts. But this craving is vague, and we shall presently see that is can be satisfied in various ways. In this respect, there is a great difference between the causal relations and the other forms of mental juxtaposition of objects and phenomena (co-existence, succession and similarity). We do not have to be taught to combine the elements of impressions into groups and chains, or to distinguish objects by their similarities and dissimilarities; these faculties come by themselves; whereas the craving of the child to understand is satisfied by information coming from other people.

6. As soon as the questions of how and why this or that phenomenon takes place has begun to appear in the mind of the child, they are naturally associated with the explanations and answers received from the mother or nurse. Whatever the logical and scientific value of these explanations, many of them include the elements of cause and effect, and the relation between them. It is no exaggeration to say that in these explanations the cause is given as the active element, and is more or less identified with man, with his capacity to act. This form of thinking is simple and illustrative, and within everybody's intellectual range. The seed is thus sown, and now it is the

turn of the soil to yield fruit in conformity to the seed. The mind of the child is in this respect very favourable soil indeed.

When the child has learnt to walk, speak and use its hands, its life is devoted to work and play. It is active every minute, performing transformations around it, and can't help feeling this. In other words, sensory chains are constantly running across its mind (the simplest name for them would be «*chains of personal action*»); these chains are juxtaposed and differentiated according to general principles (i. e. according to the law of similarity), and finally become differentiated into a number of abstract notions, viz., the animated performer of actions endowed with a will, the action itself, and the effect of the action. All this is repeated hundreds and even thousands of times, and animated performers, as the cause of the transformation of external objects, become for the child, the standard explanation of phenomena.

In those phenomena, where the active agent is some animate being (another person, or an animal) this explanation is applied not only by children but even by adults. Not without reason it is said that man values the actions of other people and animals according to his own measure. And as long as the child is unacquainted with the physical causes of inorganic phenomena it applies the same standard to the physical processes. Therefore, the child accepts with especial ease those explanations of his mother or nurse, where the cause is regarded as an animate factor. This happens particularly in those cases when there are no visible objects or images which may be taken as the causes of the phenomena.

This is undoubtedly the cause that has led to the creation of myths, or animated causes of phenomena, by uncultured people. The mental process in the minds of such people may be taken for a deduction from the known to the unknown; but this is a psychological impossibility, whereas if we assume that the notion of animated causes arises as an act of comparison with the chains of personal action, the matter becomes perfectly clear: it is a conclusion drawn from a chain of impressions, in which some elements are absent, to another chain of impressions (usually not similar to the preceding one), in which all the members are present.

The development of the idea of the cause as an active force is the same. The only difference is that the animated performer of the action is now replaced by the capacity to act. In the idea of cause as a force, the standard is the muscular strength of the man; this idea has persisted till quite recently even in physics, particularly in those cases where observation showed, or permitted, the supposition of attraction or repulsion. At present this idea has been rejected by naturalists, and we regard the «forces» of nature, not as active performer, but as ordinary factors of phenomena. Thus, in the fall of a stone not only the earth but also the stone is a factor, because the latter in its turn attracts the earth when falling. For the physicist this is one of the cases of the mutual interaction of two masses of different size. The fire is also caused not only by the fire itself, because the fire can affect only an object capable of burning. The dam is broken not only by the force of water but because it is not strong enough; etc. How, then, are we to understand the terms «cause» and «causal relations?»

These words are still used not only in every day life but also in scientific essays.

These notions, as applied to the facts of the outer and inner world, are the first steps in the explanation of the fact that the preceding elements of a phenomenon are inevitably connected with the subsequent ones. Consequently, they are not the explanation of the phenomenon but merely a statement of the inevitable succession of the elements of this phenomenon and the inevitable connection between them. The phenomena are at first differentiated into their elements in the usual way; but as soon there appears, in the human mind, the conception of animate or inanimate active performers as the means of connection between the element of phenomena, this conception is applied, so that the preceding element becomes the cause and the following one—the effect.

It is evident that *the development of the notions analysed above does not contradict Spencer's theory* [1].

Chapter 8

Extra-sensory mental processes. General characteristics of extra-sensory products. Four categories of the extra-sensory. Examples. The sensory origin and the evolution of extra-sensory mental processes. Conclusion.

I must forewarn the reader that in my analysis of the problem of extra-sensory mental processes as the highest stage of development of the human intellect, I shall not discuss the problems of faith, i. e. of the super-sensory.

Our task is to solve the general question, whether there is an essential transformation of the mental processes of man in the course of their evolution sensory to extra-sensory products, or whether this evolution proceeds according to the theory of Spencer.

With this aim, we shall begin with the period when the extra-sensory elements are just beginning to appear, and we shall illustrate the history of their development by typical examples. To systematize all extra-sensory elements, we shall group them into the following four categories:

i) the realities of the outer and inner world which are inaccessible to our organs of sense;

2) possible realities;

3) logical constructions, conditionally applicable to realities; and, finally,

---

[1] Many years ago I happened to be present at a lesson when a child was being taught to read by the non-phonetic method. The teacher (my sister) was extremely vexed, when I jokingly tried to persuade the boy that b-a must be promounced not «ba», as he was told to, but «beay» because the left letter is pronounced «bee» and the right one «ay». Fortunately the child was intelligent, and soon understood that the sound «bee» is only the name of a letter and when this letter stands before a, e, o, u it must be always pronounced b so that you get ba, be, bo, etc.

No doubt, my first explanation must have seemed more correct to the child,—but this explanation left the chain b-a without any connection between its links. The second explanation was more acceptable, because it connected the links into a whole which was easy to understand. After that, the lesson proceded rapidly, because a standard had been formed in the mind of the child.

4) logical constructions not connected with reality.

1. The general ground for the origin of the extra-sensory is given in those constant observations which enable man to judge of the presence or the existence of an object, in spite of the fact that this object cannot be seen, heard or felt at the moment. A familiar hill or wood that hides our house does not prevent us thinking that the house actually exists, though it is unseen. In a familiar place, we know not only all the objects within our sight, but also all the objects behind us. There is nothing sensory in a familiar room when it is quite dark and silent, but as soon I come into it, I know the place of the sofa and chairs and I can even walk about in it without colliding with the furniture. The same is true of the vast category of expectations: they fill the soul of the child when it is walking or performing various experiments. The expected is the aim of all the actions of the child; it is present in the mind without being seen or felt at the moment. This transition of thought from the experienced to the corresponding absent realities is repeated thousands of times, and accustoms us to imagine that realities can exist in our mind without the participation of the senses.

2. All that takes place in our body and spirit makes us conscious of the reality of our existence in the same manner, as we are conscious of the reality of what we see or feel. Nevertheless, our mental acts are not accessible to our sense organs. Therefore, all mental acts belong to our first category, i. e. to the group of realities that are not directly accessible to the organs of sense.

Those external realities which become accessible only through the performance of experiments (simple or scientific ones) also belong to this group.

Distance is accessible to our senses only to a very limited extent, viz. vithin the range of our vision. Everything beyond this region, though real, is accessible only under in the symbolic form of measure or number (the number of miles, kilometers, etc.). The same applies to our idea of smallness. A grain of sand is the limit of our vision; beyond this lie the extra-sensory realities revealed by the microscope. There is also a limit for our sensory perception of time. We feel the duration of phenomena because we distinguish, in the brief ones, the beginning, continuation and end; but no one can, by means of his senses determine the duration of phenomena that last longer than a few seconds, and when we think in terms of minutes, and even years and centuries, we do so in a form that is not connected with our organs of sense.

We have no special organ for the perception of electricity; but man has come to the knowledge of «electricity», as a special kind of energy, by sensory methods, by revealing its existence in indirect forms, accessible to our senses. We do not feel the rotation of the earth round its axis; still, there can be no doubt of the fact.

The second category includes all the extra-sensory deductions of the experimental sciences (physics, chemistry); with some reservation we may also include in this group all our conceptions concerning the mental capacities of man.

When a chemist studies the composition and other properties of bodies

disintegrates them into their elements, produces new combinations, and finally classifies the facts obtained in various manners (i. e. according to similarity or some other principle) he remains in the field of the sensory, and by all his actions gives a good example of the *unconscious* use of devices which, in the science of logic are named analysis, synthesis and comparison [1].

When the chemist discusses the structure of the bodies and introduces the notions of molecules and atoms etc., he is already operating mentally with extra-sensory objects. The molecules and atoms of the chemist are not actual realities, but inasmuch as they are deduced from experiments they are possible realities. The waves of water and sound, and the periodic swinging of the pendulum are accessible to our senses, and have therefore preceded the theory of light waves. The waves of light and ether are extra-sensory conceptions, but they are on the threshold of reality, i. e. they are possible realities.

In the above examples, the extra-sensory character of the objects is clear because the limitations of our senses is wellknown from experience. But can we speak of possible realities in the psychical sphere? The old explanation was simple enough: the rôle of the sense organs is to conduct *impressions* (light, temperature, sounds, etc.), to the spirit, i. e. to provide the spirit with raw material; the latter is transformed into ideas by the work of the psychical factors, such as memory, intellect, sense, mind and will,—factors which up to the present are regarded as the fundamental properties of the spirit. We are so accustomed to use these ideas, and to explain by means of them the psychical phenomena in other people and animals (assuming that the animals also possess memory, sense, intellect and even a kind of will, though in a lesser degree than man) that they seem perfectly real to the majority of people. It is easy to understand, however, that all the so-called *special properties* of the spirit are, in the best of cases, only a hypothesis created for the explanation of definite cycles of phenomena, i. e. they are no more than possible realities.

Here I must stop to explain *how*, i. e. by means of *what factors*, the extra-sensory objects of both categories are created.

The reality of mental acts is directly *felt* by the child if they are accompanied by some pleasant or unpleasant emotion. An adult, after the personal chains have been differentiated into various forms (thoughts and desires) juxtaposes them with the phenomena of the outer world; as a result, the mental acts appear to our mind as phenomena taking place inside us and existing in time. Therefore, our notions of these processes are based on self-observation, analysis and comparison, i. e. on experience in the wide sense of the word. The rôle of experience in the formation of our ideas of external extra-sensory realities is shown by the following example.

If navigation did not exist, the savages inhabiting some small island in the ocean would have no conception of distances beyond the limits of vision. Still there could be, among them, a man capable of thinking beyond these limits. Judging from daily experience that realities (visible objects)

---

[1] I mean by this that the chemist does not necessarily know that he is acting according to the rules of logic.

are often hidden from our eyes, he might consider the sky as a kind of a curtain above the sea, and assume the existence of realities behind this curtain. For his mind, these imagined realities would be *possible* realities, being the logical product of his assumptions. But if this savage had the experience of moving for indefinite distances, the realities hidden beyond the limits of vision would become actual realities. In general, the external realities which lie beyond the limits of our senses, and which are the result of assumptions on the basis of data provided by experiments may be changed into actual realities for our mind by means of further experiments.

The rôle of experiment in the theoretical construction of experimental sciences and psychology is also clear: these sciences are cases of the explanation of phenomena in the absence of one or several actual factors. The mind perceives that these factors must exist, and creates them accordingly. In this sense, the hypothesis is always a logical conclusion from known data. On the basis of causal relationship, we create our conception of the mind as an active agent, the function of which is to explain certain cycles of phenomena. In the same sense, the motion of ether serves to explain the phenomena of light, etc.

Mathematical conceptions belong to the third and fourth categories. I must dwell for a considerable time on this classical sphere of extra-sensory mental processes, in order to explain the application of mathematical knowledge to realities and its complete isolation from reality.

The objects of mathematics are number and extent; and their common frame,—the quantity and the quantitative relations. It is easy to show that all these notions are based on sensation. When an uneducated person expresses the idea of *plurality* by means of concrete comparison, he says «as sand at the bottom of the sea». It is obvious that in his mind all the sensory elements of this notion are already present. Special names exist for the plurality of identical objects, such as *flock* (of birds), or a *drove* (of horses), and for the single *element of this plurality*,—*one* bird, *one* horse, etc. The big and the small, the tall and the low, the wide and the narrow are the most common results of comparison in various respects according to size of similar visual images. The *rapid* and the *slow* are the usual characteristics of motion and of everything that takes place in time. They are, in their turn, the results of comparison. Finally, in the expressions: *strong* or *weak* light, and strong or weak wind, we see again a quantitative comparison. In a word, the prototypes of mathematical objects are present in our daily sensory observations. The comparison of the quantitative side of objects and phenomena is as natural to us as the comparison according to similarity, for it is merely a special case of the latter, because it is possible to compare the quantities only of identical objects. For this reason I have not yet spoken about the comparison of quantities.

However, the quantitative difference between big and small, strong and weak etc. is indefinite; this difference becomes definite only with the invention of number and measure. I shall now give a detailed analysis of the probable sensory origin of these notions.

A.

We are told that primitive savages are unable to count above 4. This is easy to understand, if we take into consideration that though the origin of numbers is sensory, the system of numbers is a product of purely symbolic thinking, and therefore can exist only if there is some sort of system of signs for it. We cannot count by sight even 10 grains of sand on the ground, if we do not move our eyes according to some definite system, and if we do not make a mental note of the periodical fixations of our eyes by means of the words «one, two, three», etc. Even if we touch every grain of sand with our finger, we must accompany every movement by mental counting. Why is this counting necessary? Simply because counting by means of movements of the eyes or fingers is a chain of periodically repeated identical links; the similarity of these links prevents us from registering each of them separately, and they become fused; whereas when we mark every movement in our mind by a new symbol, e. g. by the name of different figure, the task of memorizing becomes simple, because each new figure sums up all the preceding material.

One might even suppose that the act of counting has developed from originally purposeless movements of the eyes, hands or fingers; originally, these movements may have been registered in memory by a special symbol for every separate periodic movement of the eye or finger, or by means of the isolation of separate elements from a multitude [1]; and numbers have only gradually developed from this sensory complex in the same way as thought develops from complex sensory impressions.

I cannot, of course, write the history of the gradual development of numbers, but since I have put forward the thesis of the origin of the extra-sensory from the sensory, I am in duty bound to point out those elements of the human mind from which numbers may have originated.

I intend to do even more: I will show that in the sensory elements of walking,—a habitual phenomenon for man,—there are elements, not only for the construction of numbers, but also for the measurement of length and of short periods of time. But before doing so, I must say a few words about the acoustic determination of the duration of time.

Both sound and time appear in our mind as something continous. It is possible that the continuous sounds of the outer world are the sensory predecessors of the idea of time. Moreover, the ear distinguishes very finely various degrees of duration of short sounds and the pauses, or empty spaces between them. The duration of acoustic impressions, and the various degrees of their length, can be explained by the structure of our organ of hearing. But how can we explain our feeling of the length of the pauses? There can be no doubt that this feeling is not a pure result of auditory training, because during the pauses our acoustic apparatus is almost inactive. If the structure of the organ of hearing were such as to insert muscular sensations in the intervals between the sounds (these sensations being, as we know, extremely durable in our mind), this might serve as a definite sensory measure of the pause.

---

[1] Thus, if we draw from a pile of matches one match after another, placing them side by side, the first three groups will be identical to the first three Roman figures.

But such elements have not been discovered in the ear; therefore, I assume that the capacity to distinguish short periods of time originates from the periodic movements of our body, especially walking. Beginning with these movements, this capacity has subsequently influenced our sense of hearing.

Everyone knows from personal experience that we estimate the duration of the movements of our own body directly, i. e. from our continuous muscular impressions; thus, by the words «in the *twinkling* of an eye», we indicate the rapidity and short duration of an action. It is easy to understand that the sense of rapidity and duration must develop in connection with those movements which we perform often and with an automatic regularity; such is the *periodical bending and unbending of the legs and arms* (the most simple and habitual movements of our body) and especially the periodical movements of walking. I think the difference between «slow and fast walking» is clear even in early childhood. Later, when the sensory locomotor chain becomes differentiated, we become conscious of the moments when one of the feet is touching the ground. From that time on the duration of standing on one foot is measured by the muscular sensations due to the movement of the other foot and vice-versa. This shifting of the sensory measure from left to right and vice versa does not harm our feeling of time, because the two acts, i. e. the immobility of one foot and the motion of the other one,—almost coincide in time. Moreover, owing to the structure of the hip-joint (see manuals of physiology) these actions cannot be performed otherwise than with an automatic regularity. As a result of differentiation the step (i. e. the interval between the moments when the two feet have touched the ground) is isolated as a continuously-repeated element of the distance covered, and as a continuously-repeated element of duration. The sound that is produced by our feet when they touch the ground walking with various rapidities, appears in our mind as a periodical chain of short sounds, the intervals between them being filled with continuous muscular sensations. In this way, our sense of hearing learns to distinguish the various length of intervals due to the acceleration or slowing of our steps. After these preliminary explanations we can return to our main problem.

Walking can be felt by man as a regular periodical chain of sounds produced by the feet touching the ground with regular soundless intervals, in the same manner as we hear the beating of our heart at night. If we mark three successive periods of such a chain by any three different graphic signs, and look at them—say, in a day's time,—what picture will appear in our mind? The first sign will appear in the form of a single movement (the step has a visual image) the second—in the form of a double one, etc. Add the acoustic regularity of periods (or the *acoustic equality* of the pauses) and the meaning of our signs will become equivalent to the figures: 1, 2, 3. But what is the source of this *sense of equality*? Its main source lies in the «educators» of our hearing,—the muscular sensations which accompany each step; they are *the most uniform* of all the sensations of our body, and therefore they seem to us to be *completely* alike. If there are any elements in walking which seem to us as like to each other, as man is like himself, those must be the muscular sensations that follow each step. This is why walking can assume in our mind such a form, where sensory elements are replaced by empty, but regular, in-

tervals. *When the likeness has reached this stage, it corresponds to the degree of equality which changes numbers into uniform units standing in a strictly definite relationship to each other* [1]. We have thus come to the conclusion that we were right in assuming that definite numbers can develop from the elements of walking.

Walking can be also felt as a periodical marking of the lengths of our strides on the line of our movement, in the same manner as when we measure a line on paper by placing on it alternatively the right and left leg of the divider. In that case, the distance passed by us appears to our eyes as an entire stretch, and is equivalent to a measured line. The stride is perceived as a regularly repeated element of the way, acquiring thereby the rôle of a measure. The significance of the stride is especially obvious if our feet leave a trace on the ground. Then the way is divided by steps into equal spaces. Such is the probable origin of the pedal measure of length, and of the ells and spans as measures of height (the latter probably appeared later).

Finally, walking may be perceived as an acoustic chain with a definite duration of the empty intervals; this chain lasts all the time in which we are traversing a definite space. In that case, the process appears in our mind in just the same form as when we measure the duration of any phenomenon from its beginning to its end by means of a metronome. The constant duration of every step is equivalent to the period between two beatings of the time-measuring instrument, and the process of walking, as a chain, is equivalent to the instrument itself.

The example of walking is important not only because it is one of the standards which may have served for the development of numbers and measures of length and time, but also because it shows their origin from one factor,—the muscular sense,—and thus enables us to determine them physiologically.

As a measure of equal periods, the muscular sense leads to the development of figures by means of definite symbols. As a measure of periodically-marked equal lengths, it gives, by means of the same symbols, definite divisions of space. As a measure of periodically repeated equal durations it gives, again with the same symbols, definite periods of time.

This common origin of all the three products from the muscular sense is of great theoretical importance.

In the first part of this essay, the muscular sense was shown to be the factor that determines the relations between objects in time and space: the distance, size, and direction of the motion of objects, were all found to be products of the muscular sense. Now we see that when the continuity of the muscular sense is broken in the course of periodical movements, it becomes *an instrument for the measurement of time and space.*

I am far from affirming definitely that numbers and measures of time and space have developed from walking. I know very well that the usual mea-

---

[1] We distinguish between practical, or sensory, and mathematical equality. This distinction is correct, inasmuch as practical equality is an approximation, and mathematical equality, the limit. But in practice the equality of numbers (and therefore their definiteness) is, for the vast majority of people, merely the likeness of an object to itself.

sures of time were obtained by the division of long daily periods into equal parts, and not by reducing them to short units, deduced from the length of our steps. My intention was merely to show the reader in the most simple form that all the three products had to develop originally out of some regular periodical movements of the body accompanied by muscular sensations; what particular movement it is—does not matter very much. I can add one last argument which shows that numbers must have developed from some sort of regular periodical movements.

We know that in all ages only groups of identical objects have been counted. We count the trees in a wood, the sheep in a flock, the windows or chimneys of a house; but a I am sure that very few of us can immediately answer how many outstanding visible traits a man has on his head. Every one knows that a man has two eyes, one nose, one mouth and two ears, but most people (I judge by myself) do not know that the total number of traits is six. This is obviously due not only to the importance of counting in practical affairs; if in all ages, the human race had counted all the traits of objects without any choice this would hardly have given any important results. The cause of this lies in the fact that the greater difference between objects, the more the chance to be drawn from number to quality, and the less the possibilities of counting. On the other hand, the more monotonous the outside influences, the more regular the periodic movements of our hands, feet and even breathing; but as soon as an impression increases beyond the average level, the harmony of the periodical movements is disturbed. Is not this an indication that the harmonious chain of counting can have developed only from some harmonious movement?

The reader will understand now without further explanation the great importance of the similarity of impressions in the transformation of relations in time and space into quantitative relations.

This transformation is, as we have seen, achieved by means of number and measure; the latter is developed by the analysis of regular periodical chains with similar links,—similar to such a degree that we may even speak of their identity.

B

Now let us search in mathematics for other traces of reality, making it possible to apply this science in practice. Among the various branches of human knowledge, mathematics occupies a separate place, and presents the following peculiarity: its subject-matter is extra-sensory; and by treating it with the usual method of mental research,—analysis, synthesis and comparison, absolute truths are obtained; whereas the truths of experimental sciences are relative. The first token of the impeccability of mathematical thinking is that in this science all reasoning and action starts from axioms. As most axioms are self-evident for all educated people, i. e. are understood immediately without any explanations, their perception is believed to be direct or intuitive, and they are qualified as non-experimental, or what is the same, extra-sensory truths.

To avoid long explanations, I shall draw the reader's attention to the following. All self-evident truths are very elementary and always seem to be

extremely generalized conclusions continuously applied, not only in science, but also in practical life. Now this application of axioms *in practice*, together with the incapacity of small children to understand many of them, arouses doubts as to their *non-experimental* origin, though we cannot entirely reject this supposition. Here is, at any rate, a point against it: every one acknowledges that intuition is equal to a conclusion obtained without assumptions. On this ground, Lewis characterizes intuition as organised reasoning, wishing ot express thereby its likeness to an extremely habitual action, which has become so automatic that the process is too rapid and easy to be noticed. I can give a still better analogy, namely the «unbewusste Schlüsse» of Helmholtz in the perception of spatial relations by children, in the period when they hardly walk, to say nothing of reasoning. The analogy of these acts to intuition is so complete, that I unhesitatingly assert that the intuition necessary for understanding, for instance, such an axiom as «the part is always smaller than the whole» is the same as for understanding the statement: «to see an object placed on the right, one must turn either one's head or one's eyes to the right». Everybody will agree that the second statement has a sensory origin; and that it is as *obvious*, *general* and *necessary*, as the first. The origin of the axiom (which geometry does not prove), that «a straight line is the shortest distance between two point» is also sensory beyond doubt. Looking at the surrounding objects, we clearly see the difference in the position of those objects that stand *directly* in front of us and that of the rest. We are accustomed to consider the position of visible objects, (including a grain of sand) in relation to the front of our body, and to the position of the imaginary cyclopic eye on the bridge of our nose. It seems to us that we see, not with two eyes but only with one placed between them. When we say «a straight line» we mean «right in front of me». This straight line is also understood in the act of walking. If there are no obstacles we approach the desired object following a straight line not by reason of geometrical considerations, but according to the organic coordination of the movements of our feet with the front of our body and with the direction of our vision along the optic axis of the cyclopic eye. As a result of these factors, even an uncultured person will accept as self-evident the following truth: «if I could go straight to that object it would be very near, but I have to take a round-about way.» Another infallible truth that is constantly applied by the mathematician is the thought that one and the same action applied to identical objects produces the same effect; applied to similar objects it produces similar effects, etc. If a shoe-maker were not convinced by experience that by using the same shoelast he can make shoes of the same size, and by using several shoelasts he can make shoes of different size, he would choose some other craft.

The second and principal proof of the impeccability of mathematical thinking (for the time-being I am speaking only of numbers and arithmetical actions with them[1]) is its ideal uniformity, simplicity and stability, due to the nature of the material of which mathematical elements are constructed.

---

[1] At the same time it must not be forgotten that at the next stages of development of mathematical thought, quantity changes only its form, and the signs of numbers are replaced by one common sign—a letter.

Owing to these properties of the material, all actions to which it is subjected (actions, which, as we have shown, are identical to those of the chemist, viz. analysis, synthesis and comparison) are ideally simple and give absolutely correct results. Thus the truth of the statement «twice two is four» is greater than the truth of the coming of to-morrow; the first statement is absolutely true, while the second one is merely the greater probability of several thousand years of human experience, as opposed to the uncertainty of one hypothetical «to-morrow». For the same reason, the various degrees of mathematical similarity and dissimilarity between the extremes of identity and antithesis are quite definite: A greater and more simple contrast than the mathematical conceptions of the «positive» and the «negative» cannot exist.

All the above properties of the mathematical values: *uniformity*, *immutability under the action of external influences*, *certainty of actions and results*, *certainty of similarities* and *dissimilarities* are obviously borrowed from actual facts, with the only difference that in mathematical values all these properties have reached their ideal, while in actual objects they are only an approximation to this ideal. Moreover, my arguments were concerned with numbers and arithmetical actions, and arithmetic is learned in early youth, i. e. on a ground prepared exclusively by realities. However mathematical thought does not stop at this primitive stage of development: from the finite it passes to the infinite, from the immutable to the modifiable.

If we draw a line on a piece of paper, the microscope will show us that the borders of the line are not smooth, but dentated. The reason is clear: the first contact of the pen or pencil with the paper gives a dot; therefore he movement of the pen or pencil gives a continuous chain of dots, which are the more distinct, the bigger the dot, and the slower the movement of the pen or pencil. A still more irregular line could be obtained if the motion of the dot was combined with the rotation of the writing instrument around its axis, and if the dimensions of dots were not equal in all directions. But if we imagine the dot as having no dimensions, then it could move with any speed and rotation and its path would still appear as a line uniformly devoid of width along its whole length.

Such a dot would be a mathematical point and its path—a mathematical line. They are both more than extra sensory. They are what we call a fiction, an obvious impossibility; but this fiction has made it possible to define with the strictest accuracy the spatial relations of the point and line. This example shows, by means of what simple reasoning and experiments we may come to fictions when it concerns very simple relations. On the other hand it is easy to prove that both these fictions can be applied to realities, which is another proof of their origin from realities. Thus, for instance, the centre of gravity is a notion on the border of reality; nevertheless, such a centre can be only a mathematical value. Another example: when a joiner measures his work with a thread, he understands clearly, that the importance lies in the length of the thread and not in its thickness. The notion of the outline of the object is also equivalent to a mathematical line. The eye sees the outline as a border-line between the object and the surrounding background; but where does this border-line belong? To the object itself, or the surrounding background? Only the mathematical line helps us out of the difficulty.

For the development of the infinite from the finite, let us take the following simple example. We can make 2 out of 1 by adding an endless number of infinitesimal fractions. This seemingly simple phrase contains many important points: 1) it deals with apparently infinitesimal fractions, which, nevertheless, are not equal to zero. 2) Zero is taken as the limit of fractions; this is a fiction, like the mathematical point,—only the one is applied to space and the other one—to quantity. 3) It deals with an endless increase of values towards infinity (also a fiction), with its symbol ∞. These notions form the starting point of the higher mathematical analysis, and though they are very abstract, they still contain a reflection of reality. Thus, the world space appears infinite to the mind; the absolute zero of temperature is a possible reality; the zero pressure in the barometer is an actual reality.

Here is a further example of mathematical dependence which is quite equivalent to what is commonly called causal relationship.

If x denotes some unknown value and it is in some manner connected with the known value a, their sum gives another unknown value y:

$$a+x=y.$$

If we substitute some definite values for x in the form of letters or numbers, i. e. if we consider x as an alternative value, then each definite alteration of x will correspond to a definite alteration of the whole sum (y). Therefore, we say that in our equation x is an independent variable and y is a dependent one. It is evident that x plays the rôle of the cause and y—that of the effect, the more so as the relationship between x and y is unchangeable, like in the case of cause and effect. This is the starting point of the theory of functions. Its roots evidently lie in arithmetic, and its further development is, after all, reduced to the study of the relations between dependent and independent variables when the latter are continuously changing with various speed. Moreover, the very nature of *continuous* change makes it necessary to study infinitesimally short intervals of transformation, i. e. values approaching zero. This thought is also one of the self-evident truths of higher mathematics, and has probably been reached by observing the running of water, or some other visible motion, and by performing simple experiments like the following. A chain of closely situated, but separate, dots appears as a line when seen from a certain distance. The movement of the pen that has produced this line consisted of short separate phases, but the result is the same as if the pen had performed a continuous movement. Therefore, sensory continuity is due to the limitations of our sense organs; whereas mathematical continuity is absolute.

Everything said above serves as background for mathematical thinking. We see in it many traits that are clearly the reflection of reality, or can be conditionally applied to realities as ideal standards to corresponding approximations; and other traits, which have nothing to do with reality. The product of three factors, values of the third power, and functions with two independent variables correspond to volumes, i. e. are also abstractions from realities; but the same mathematical operations with a greater number of factors, powers or variables have no connection with reality.

Negative values may be conditionally applied to realities; but the so-called imaginary quantities $(\sqrt{-a})$ are quantitative impossibilities, i. e.

not values, but forms. In analysis, however, the mathematician applies to all these irrational values his usual methods, and obtains correct results. All such values are the products of the usual mathematical operations with signs of quantity, applied to forms irrespectively of the content of these forms. Dealing with abstracts, the mathematician is obliged to deal with forms, i. e. with the external expressions of these abstracts. The infallibility of his conclusions is determined by the fact that only in mathematics the form *fully* corresponds to its contents. Thus, in algebra the same simple symbol often expresses the value, the operation with it and the result; and if the result cannot be expressed by one short symbol, it is expressed by a formula. The isolation of mathematics from reality is based on the multiplication of mathematical forms by analogy and generalization. I have included all these mathematical operations in group four of my list of extra-sensory objects, under the name of «logical constructions without a concrete basis».

What is the value of such expressions of the human mind? Are they reaally the highest form of mentality, the products of which lie beyond the limits of experience, and do they give us the right to believe that quantitative relations, are not the only field in which human thought is able to rise beyond these limits by means of logic or, as we often say, by speculation? We answer the first question with a simple and definite «no»: all transcendental mathematical constructions (i. e. all constructions that lie beyond experience) are reached by means of usual logical processes with symbols, and do not present any new mental functions of man.

The best answer to the second question is given by the history of the development of experimental sciences, for it is here that the creative powers of the human mind have achieved most brilliant successes during the last century. The progress of experimental sciences is constantly disclosing new horizons, for every experiment is a source of new problems that lie beyond its limits. Fortunately our mind does not stop at the threshold of experiment, but advances far into the field of enigmas. Some of these enigmas can be solved only partly or conditionally; others are solved by the artful experimentator immediately and completely; others again are perfectly clear to the mind, and only technical reasons make their experimental solution temporarily impossible. Thus, Leverrier discovered the Neptune, not by means of the telescope, but by logical deductions from astronomical data. Faraday came to the idea of the rôle of the medium in the so-called «action at a distance» as a logical conclusion from his experiments, long before this idea was recognised by others, and became a necessary factor of the explanation of experimental phenomena. The analogy between light and electricity appeared in Maxwell's mind before it was proved by the experiments of Herz. Such facts are widespread in the sphere of discoveries, for every discovery must be preceded by a new mental juxtaposition of known facts (as, for instance, the ideas of Robert Mayer which have led to the theory of the conservation of energy). It is only to the public that new unexpected discoveries seem to have appeared straight from the mind of the inventor, like, a *deus ex machina*; for the inventor himself and for all those who are equal to him in erudition, his discovery is merely a new side of the previously known.

Therefore it is really possible to discover new truths (positive knowledge) but *only on condition that they are based on previously-known facts.* Now, does not the same process take place in the mind of the mathematician when he comes to new transcendental postulates? Here also, the conclusion is based on a new juxtaposition of the data already accumulated by mathematical experience. The same takes place in the conditional solution of experimental problems, i. e. in the construction of hypotheses in experimental sciences. Only those hypotheses are accepted, which stand on the threshold of the positive facts that must be explained, and only if the additional hypothetical data have the form of logical conclusions from definite assumptions, i. e. are possible, though not actual, realities.

We see from this that the true progress of science is limited at every moment by the possibilities of that moment, in the same sense as in our daily life experience creates a sphere of possibilities for further thought, and human actions are effective only if they lie within this sphere. Unfortunately, both in science and in everyday-life, there exist not only real, but also seeming possibilities. Human thought has been accustomed from antiquity to go far beyond the limits of experience and to consider as possible such problems as the combination of the whole modern knowledge, or the definition of the final causes, the origin, and the purpose of the universe.

The discussion of such distant spheres is, at best, a speculation with riddles, without the possibility of proving whether the conclusions arrived at are right; only scientific experiment can serve as test for distinguishing actual possibilities from seeming ones.

Let us sum up what we have said about the development of extra-sensory-products from experimental data.

By the differentiation of the elements of sensation and action in subjective and objective chains, we grow accustomed to regard as real not only what is directly accessible to our senses. In every-day language such extra-sensory products are even designated by a special generic name,—«possibility». The sum of all experimental possibilities forms the basis on which man constructs the extra-sensory.

By repeated disintegration of external objects, man obtains products which are inaccessible to his senses. The conviction that every unseen speck exists as a separate unit is based on the knowledge (a conclusion from the juxtaposition of similar chains) that the size of the separate units diminishes in the course of the disintegrating process.

By the repeated joining together of external bodies, man comes to the knowledge of the fact (again a conclusion from the juxtaposition of similar chains) that joining increases the number of the accumulated particles and the size of the group. In the course of this operation, some people conceive (vaguely, as an unexperienced possibility) that prolonged joining can produce dimensions which exceed the possibilities of sensory perception.

Numbers and *measures* may also be the result of repeated combinations of outside objects, or of the analysis of the periodical acts of walking; at any rate, they are undoubtedly the result of the analysis of some sort of very regular periodical motions of our own body. Sooner or later, the numbers become arranged into a system expressed in graphic symbols, while measu-

res take the form of standards. As soon as this has led to the development of the conception of the identity of the parts of a whole, it becomes possible to diminish or increase numbers and measures endlessly; and as the original values are definite, the derivatives must also be definite.

The extra-sensory products of the diminution or increase of external objects can now assume a perfectly *definite* (though conditional), i. e. *comprehensible*, form. Thus, the symbols ½ mm, 1/100 mm, 1/1000.000 mm are equally intelligible, though the first symbol denotes a size which is perfectly visible to the naked eye, the second one is visible only with a microscope, and the third one is inaccessible even to the microscope. The first value is sensory for everyone; the second one is extra-sensory for an uneducated person, but can be explained to him by showing him the size of a millimeter; and the third one is at present extra-sensory for everybody, though in a hundred years' time it may also become accessible to our senses. The terrestrial globe, or a period of 30 sec. (and the more so a period of one hour, day or week) cannot be imagined as something sensory; but such a symbol as «a sphere with a diameter of one milliard miles» (which is, of course, much greater than the earth) is as easy to understand as a «billiard ball», or «one minute».

Such is the power of the definiteness of measures and numbers, when they are applied to those experimental possibilities which result from extensive analysis or synthesis. With their aid, the limits of possible realities have been extended in modern physics beyond all numbers. Thus, the modern physicist finds experimentally 10^{26}, or 100.000.000.000.000.000.000.000.000 molecules in one drop of water.

The rôle of numbers and measures in classification and generalization is perhaps less striking, but even more important.

Some examples of their application in this respect were given, when we spoke of the origin of the conception of quantity from time and space. The three words just said are short, but they enclose an endless multitude of combinations in time and space: groups, chains, forms and images. Thus, space includes all forms of curved lines, planes, surfaces of most varied forms and dimensions. The fact that the formula of quantity embraces this enormous variety of material is a proof of the immense generalizing power of numbers and measures. This generalizing power is constantly felt in such experimental sciences as chemistry and physics. Here measurement serves not only for the qualitative analysis of facts, but also for their classification: moreover, both chemistry and physics have reached their most general conclusions or theories by means of measurement.

Consequently, *the transition of thought from the sphere of experience to the extra-sensory is the result of prolonged analysis, prolonged synthesis and prolonged generalization.* In this respect, *it is a natural continuation of the preceding stage of development with the same methods and, therefore, the same mental processes.*

But it differs essentially in its contents. The preceding stage symbolizes reality, whereas the extra-sensory stage symbolizes actual, and (unfortunately) often fictitious, possibility.

Date Due

bd

CAT. NO. 23 233 PRINTED IN U.S.A.

TRENT UNIVERSITY
0 1164 0375547 7

QP6 .S5 1968
Sechenov, I.M.
Selected Works

117996

DATE	ISSUED TO

117996